

№ 8.

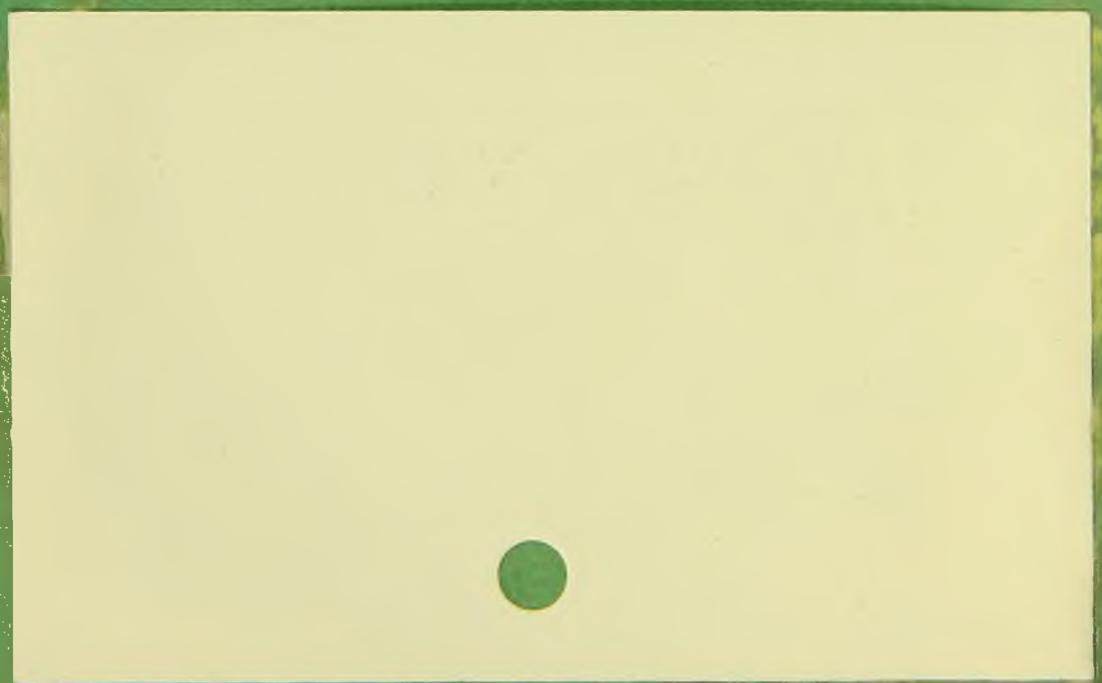
ГОРНЫЙ
ЖУРНАЛЪ

НА

1848 ГОДЪ.



САНКТ ПЕТЕРБУРГЪ.



ГОРНЫЙ ЖУРНАЛЪ,

ИЛИ

СОБРАНИЕ СВДѢНІЙ

О

ГОРНОМЪ И СОЛЯНОМЪ ДѢЛѢ,

СЪ ПРИСОВОКУПЛЕНІЕМЪ

НОВЫХЪ ОТКРЫТІЙ ПО НАУКАМЪ,

КЪ СЕМУ ПРЕДМЕТУ ОТНОСЯЩИМСЯ.

Ч А С Т Ъ П Л

К Н И Ж К А П Л



САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

ВЪ ТИПОГРАФІИ И. ГЛАЗУНОВА И К^О.

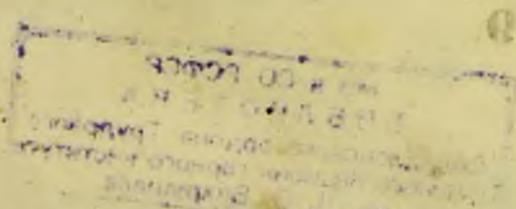
1849.

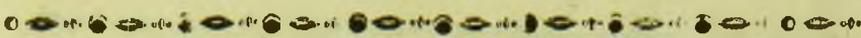


ПЕЧАТАТЬ ПОЗВОЛЯЕТСЯ

съ тѣмъ, чтобы по отпечатаніи представлено было въ
Ценсурный Комитетъ узаконенное число экземпляровъ.
С. Петербургъ, 14 Іюня 1849 года.

Исправляющій должность Ценсора В. Лангеръ.

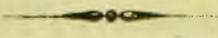




О Г Л А В Л Е Н І Е.

Стран.

МЕХАНИКА.

- 1) Гидравлическій аппаратъ Вейсбаха; Г. Капитана Рожкова 161
 - 2) Опыты для опредѣленія потери живой силы, уничтожаемой устройствомъ спусковъ, употребляемыхъ при водяныхъ колесахъ на Уралѣ Г. Капитана Рожкова 182
 - 3) О вертикальныхъ водяныхъ колесахъ; Г. Капитана Рожкова 190
 - 4) Краткій обзоръ гидравлической системы, употребляемой на Уральскихъ заводахъ; Г. Капитана Рожкова 206
 - 5) О турбинахъ; Г. Капитана Рожкова 215
 - 6) Теорія и устройство турбины Жапвалья; Г. Капитана Рожкова 241
- 

ОТ АВАНТИ

Содержание

МЕХАНИКА

1) Гидростатический аппарат Вальтера; Г. Нантин 161

2) Опыт над определением потерь в трубах с помощью гидростатического аппарата; Г. Нантин 182

3) О гидростатическом аппарате Вальтера; Г. Нантин 190

4) Опыт над определением гидростатического аппарата; Г. Нантин 205

5) О гидростатическом аппарате Вальтера; Г. Нантин 215

6) Опыт над определением гидростатического аппарата; Г. Нантин 241

МЕХАНИКА.

Гидравлическій аппаратъ Вейсбаха.

(Г. Капитана Рожкова).

Изученіе Гидравлики представляетъ для слушателя очень много затрудненій, по причинѣ разнообразности явленій и безпрестанныхъ ссылокъ на опыты и наблюденія. Если учащійся, слушая теоретическій курсъ и понявъ хорошо предметъ, то при всемъ томъ ему очень трудно бываетъ удержать въ памяти все разнородныя явленія при движеніи воды встрѣчающіяся: ему не достаетъ наглядности. Чтобы пополнить этотъ недостатокъ, Профессоръ Вейсбахъ придумалъ гидравлическій аппаратъ, посредствомъ котораго можно сдѣлать, если не все, то большую часть опытовъ и наблюденій. Нѣкоторые изъ нихъ служатъ для подтвержденія механическихъ законовъ,

а другіе для опредѣленія въ какой степени опытъ согласуется съ теоріей и для поправки теоретическихъ выводовъ.

Гидравлическій аппаратъ представленъ на фигурѣ 1 въ обыкновенномъ видѣ, съ боку, а на фигурѣ 2 въ разрѣзѣ. Онъ состоитъ изъ призматическаго, квадратнаго основанія, сосуда АВ, снабженнаго тремя отверстіями M_1 M_2 M_3 въ различныхъ точкахъ высоты. Отверстія M_1 M_2 M_3 оправлены такъ, что къ нимъ можно приставлять различныя наставки. K_1 K_2 K_3 суть клапаны для закрытія отверстій: клапаны выходятъ, чрезъ стѣну сосуда, на наружу; на внѣшнихъ концахъ ихъ нарѣзанъ винтъ. Въ верхней части сосуда АВ, внутри, укрѣплены два острокопечные указателя (стрѣлки) H_1 H_2 для измѣренія высоты при вытеканіи воды изъ сосуда. Вытекающая изъ сосуда вода собирается въ особенномъ желѣзномъ ящикѣ G, который можно поставить потомъ сверху сосуда, для обращенія вытекшей воды обратно въ сосудъ.

Разстояніе между отверстіями M_1 M_2 M_3 въ сосудѣ соображены такъ, что высоты, считая отъ центровъ ихъ до середины отвѣснаго разстоянія между двумя указателями, относятся между собою, какъ квадратныя числа: 1, 4, 9; следовательно, соответственныя имъ скорости истеченія будутъ относиться между собою, какъ $\sqrt{1} : \sqrt{4} : \sqrt{9} = 1 : 2 : 3$. Проверить это отношеніе между отстояніями можно посредствомъ самаго опыта: пусть вода, при выте-

каніи изъ верхняго отверстія M_1 , употребляетъ на пониженія отъ H_1 до H_2 извѣстное число секундъ, если для вытечнія того же расхода воды изъ средняго отверстія M_2 она потребуеть времени въ 2 раза менѣе, а для вытеченія чрезъ нижнее отверстие M_3 — въ 3 раза менѣе, то можно заключить, что соотвѣтствующія среднимъ разстояніямъ скорости истеченія относятся, одна къ другой, какъ числа:

$$3 : 2 : 1 = \sqrt{3} : \sqrt{4} : \sqrt{1}.$$

Количество, вытекаемой изъ сосуда, воды измѣряется помощію слѣдующей формулы:

$$h = \left(\frac{\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}}{2} \right)^2, \text{ гдѣ } h_1 \text{ есть отвѣсное раз-}$$

стояніе отъ центра отверстія (M_1 M_2 M_3) до верхняго указателя, а h_2 —подобное разстояніе до нижняго указателя.

Посредствомъ гидравлическаго аппарата можно дѣлать опыты для опредѣленія множителей расхода при всѣхъ родахъ отверстій; также для узнанія явленій и дѣйствія, какъ реакціи, такъ и удара. Для произведенія послѣдняго рода опытовъ аппаратъ снабженъ особеннымъ штативомъ и вѣсами (фигура 3).

По порученію Штаба Корпуса Горныхъ Инженеровъ я купилъ одинъ изъ приготовленныхъ здѣсь гидравлическихъ приборовъ для занятій въ Инсти-

туть Горныхъ Инженеровъ. Профессоръ Вейсбахъ повторилъ на опытъ все опыты въ бытность мою во Фрейбургѣ. Результаты, выведенные изъ его прежнихъ наблюдений помощью прибора, введены уже въ составъ науки. Подробный трактатъ объ нихъ можно заимствовать изъ новаго сочиненія Вейсбаха теоретической и прикладной механики. Не входя въ подробное изложеніе основныхъ началъ гидравлики, я сдѣлаю краткое извлеченіе результатовъ, полученныхъ изъ опытовъ.

При вытекании воды изъ сосуда вообще, чрезъ всякаго рода отверстія, слѣдуетъ наблюдать въ особенности три величины.

- 1) Коэффициентъ сжатія струи; назовемъ его чрезъ α .
- 2) Коэффициентъ скорости (ϕ); и
- 3) Коэффициентъ расхода (μ).

Возьмемъ самый обыкновенный случай: вытеканіе воды изъ сосуда чрезъ отверстіе, въ тонкихъ стѣнкахъ сдѣланное.

Наблюденіе показываетъ, что на разстояніи, равномъ около $\frac{1}{2}$ діаметра (или ширины) окна, струя воды сжимается; по измѣренію въ сжатомъ мѣстѣ діаметръ оной составляетъ только 0,8 часть діаметра окна и слѣдственно площадь сжатой струи будетъ $= (0,8)^2$ площади выпускнаго отверстія; или $F_1 = (0,8)^2 F$; $F_1 = 0,64 F$. По этому коэффициентъ сжатія $\alpha = 0,64$.

Но если измѣрить расходъ вытекшей воды по

объему, то величина α будет не 0,64, а другая, именно от 0,61 до 0,62 (*).

Для отличія последнее число названо коэффициентом расхода то есть:

$$\mu = 0,61 \div 0,62.$$

Разность между величинами α и μ доказываетъ, что, кромѣ сжатія струи, имѣетъ мѣсто другая причина, препятствующая полному вытеканию оной. Она заключается, по всей вѣроятности, въ уменьшеніи скорости отъ тренія воды о стѣнки, или края сосуда; множитель, дающій мѣру для этого рода уменьшенія, называется коэффициентомъ скорости (θ); и дѣйствительно настоящая скорость будетъ выражаться: $v_1 = \theta \sqrt{2gh}$.

Для разсматриваемаго случая изъ опыта определено $\alpha = 0,64$;

$\mu = 0,61$.

Слѣдственно расчетъ воды Q будетъ:

$$Q = \alpha F \theta \sqrt{2gh} = \mu F \sqrt{2gh}.$$

Но извѣстно также, что

$$\mu = \alpha \theta, \text{ или } \theta = \frac{\mu}{\alpha}$$

(*) Коэффициентъ расхода при опытахъ определяемъ былъ помощью слѣдующей формулы:

$$\mu = 2s \frac{(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2})}{F t \sqrt{2g}} \text{ гдѣ } s \leftarrow \text{ площадь верхней части}$$

сосуда (горизонтальное сѣченіе); F — площадь отверстія
 t — время вытекания; h_1 и h_2 — высоты напора.

Для различныхъ случаевъ вытекания воды величины α , θ и μ неодинаковы, а также различны. Первый изъ нихъ, коэффициентъ сжатія (α), не означаетъ потерю; ибо вода остается въ резервуарѣ, не вытекающая изъ запаса; второй коэффициентъ θ сопровождается всегда потерей живыхъ силъ воды; наконецъ третій множитель μ влечетъ за собой потерю, но не во всѣхъ случаяхъ.

I. И такъ въ случаѣ отверстія въ тонкихъ стѣнкахъ сосуда (фигура 4) имѣется:

$$\alpha = 0,64; \mu = 0,61; \theta = \frac{0,61}{0,64} = 0,96.$$

II. Если стѣнки сосуда будутъ съдланы такъ, какъ показано на фигурѣ 5, то коэффициенты α , θ и μ удерживаютъ прежнія величины.

III. Если отверстіе въ стѣнѣ будетъ изънутри округлено такъ, какъ изображаетъ фигура 6; то вода вытекаетъ чрезъ окно, не сжимаясь. Слѣдовательно въ этомъ случаѣ будетъ:

$$\alpha = 1, \theta = 0,96; \mu = 0,96.$$

IV. Вода вытекаетъ чрезъ короткую цилиндрическую наставку (трубку), коей длина равна діаметру, или ширинѣ окна (фигура 7). Въ этомъ случаѣ струя сжимается совершенно, и вытекаетъ, не прикасаясь къ стѣнкамъ наставки, по причинѣ незначительной ея длины:

$$\alpha = 0,64; \theta = 0,96; \mu = 0,61.$$

Слѣдственно короткая наставка не имѣетъ вліяніе на сжатіе струи.

V. Но если закрыть отверстіе, въ предыдущемъ случаѣ, рукою, или доскою, такъ, чтобы вода наполнила всю наставку и прикоснулась бы къ стѣнамъ; тогда вода будетъ вытекать полною струею, не сжимаясь. Опытъ показалъ, что

$$\alpha = 1, \mu = 0,81 \div 0,82; \sigma = 0,81 \div 0,82.$$

Вода вытекала не прозрачною, разрывчатою струею (фигура 8).

Этотъ случай одинъ изъ самыхъ замѣчательныхъ.

VI. Если длина наставки будетъ въ $2\frac{1}{2}$ или въ 3 раза болѣе діаметра (фигура 9); тогда обнаруживаются явленія, подобныя, какъ въ предыдущемъ случаѣ; то есть: вода вытекаетъ полною струею, слѣдственно $\alpha = 1$, коэффициентъ расхода $\mu = 0,81 \div 0,82$; $\sigma = 0,81 \div 0,82$.

VII. Длина наставки оставлена прежняя; но внутренніе края оной округлены, какъ показано на фигурѣ 10.

Въ этомъ случаѣ:

$$\alpha = 1, \mu = 0,96; \sigma = 0,96.$$

Въ послѣдствіи мы увидимъ, что этотъ случай гораздо выгоднѣе предыдущаго.

VIII. Наставка приставлена не подъ прямымъ угломъ къ сосуду, а косвенно (фигура 11). При этомъ коэффициентъ расхода менѣе и зависитъ отъ угла:

Для 0° 10° 20° 30° 40° 50° 60°
 $\mu = 0,815-0,799-0,782-0,764-0,747-0,731-0,719.$

Величина $\alpha = 4$, а $\theta = \mu.$

IX. Наставка конической формы; длина ея по оси въ 5 раза болѣе ширины внутренняго (приставленнаго къ сосуду) отверстія; наставка приставлена такъ, какъ показано на фигурѣ 42; то есть, во внѣшнему отверстию сходящаяся (convergent). Наблюденіе показало, что здѣсь струя не сжимается, слѣдственно $\alpha = 4$; а коэффициенты μ и θ измѣняются, смотря по углу конуса.

Для	μ	θ		μ	θ	
0°	$0' - 0,829$	$0,829$	—	21°	$0' - 0,919$	$0,972$
5°	$26' - 0,924$	$0,919$	—	30°	$0' - 0,895$	$0,975$
10°	$20' - 0,938$	$0,951$	—	40°	$20' - 0,870$	$0,980$
16°	$56' - 0,958$	$0,971$	—	46°	$50' - 0,847$	$0,984$

X. Наставка та же самая, что и въ предыдущемъ случаѣ, но только приставлена къ стѣнѣ сосуда узкимъ концомъ (conisch divergent). Здѣсь непрерывная связь струи, имѣющая мѣсто при конической сходящейся наставкѣ, разстроивается совершенно: вода вытекаетъ неполнымъ отверстіемъ, и разбрасывается по сторонамъ. Если принять узкій конецъ за отверстіе истеченія, то $\mu = 0,920$; если, на оборотъ, принять широкой конецъ за окно, то $\mu = 0,555.$

При коническихъ наставкахъ вообще слѣдуетъ принять за правило: отверстіемъ истеченія считать

всегда външній конецъ (*Ausmündung*), а не внутренній (*Einmündung*); ибо давленіе атмосфернаго воздуха обнаруживается на первомъ.

XI. При отверстіи представленномъ на фигурѣ 14, обнаруживается наибольшій коэффициентъ расхода, именно $\mu = 0,97$; тогда какъ при отверстіи, изображенномъ на фигурѣ 15 обнаруживается наименьшій коэффициентъ расхода: $\mu = 0,53$.

XII. Въ практикѣ очень часто встрѣчаются отверстія, или выпускныя окна, образованныя такъ, что струя сжимается не со всехъ сторонъ. Напримеръ, если взять такой видъ отверстія, какой изображенъ на фигурѣ 16, то здѣсь двѣ стороны сосуда продолжены; струя сжимается только съ двухъ сторонъ, а съ двухъ остальныхъ, составляющихъ продолженіе стѣны сосуда, она прилегаетъ къ нимъ плотно и вытекаетъ, не сжимаясь. Слѣдствіемъ того дѣлается то, что струя имѣетъ косвенное направленіе, а расходъ воды болѣе, чѣмъ при полномъ сжатіи. Сжатіе можетъ быть уничтожено при одной, или при двухъ, или наконецъ при трехъ сторонахъ отверстія. Если оно уничтожено при всехъ четырехъ сторонахъ то этотъ случай будетъ подходить къ случаю наставокъ.

Формула для измѣренія коэффициентовъ расхода въ первыхъ трехъ случаяхъ, выражается такъ:
 $\mu = (1 + kn) \mu$. Здѣсь k число, опредѣляемое изъ опыта; оно равно, въ случаѣ круглыхъ отверстій,

0,128; а въ случаѣ квадратныхъ и прямоугольныхъ отверстій, $k = 0,143$; величина $n = \frac{b}{2(a + b)}$ (a и b составляютъ высоту и ширину прямоугольнаго отверстия),—въ случаѣ, если струя прилегаетъ (не сжимается) къ одной сторонѣ b ; $n = \frac{1}{2}$, если сжатіе имѣетъ мѣсто съ двухъ сторонъ a и b ; и наконецъ $n = \frac{2a + b}{2(a + b)}$, если струя сжимается съ одной стороны a , а съ обѣихъ сторонъ b и одной a сжатіе уничтожено.

XIII. Коэффициентъ расхода очень много зависитъ также отъ того, что находится ли вода въ сосудѣ въ состояніи движенія, или въ состояніи покоя. Въ первомъ случаѣ, то есть, если вода до теченія своего чрезъ отверстіе, находится въ движеніи, напримѣръ по довольно широкой трубѣ, въ концѣ которой сдѣлано отверстіе, но не во весь діаметръ оной (фигура 17), расходъ воды измѣряется по формулѣ: $\mu_1 = \mu \{1 + 0,0760 (9^n - 1)\}$ — для четырехугольныхъ отверстій; тутъ $n = \frac{E}{G}$ = отношенію площадей окна и трубы.

XIV. Въ предидущихъ случаяхъ изслѣдовано истеченіе воды чрезъ отверстія въ тонкихъ стѣнкахъ сосуда, и чрезъ наставки всѣхъ родовъ. Перейдемъ теперь къ тому случаю, когда наставка (цилиндрическая, или призматическая все равно) будетъ имѣть

значительную длину; это приведет къ случаю вытекания воды посредствомъ довольно длинныхъ трубъ.

Наблюдения показали: 1) струя воды въ трубъ, на всемъ ея протяженіи, не сжимается вовсе; 2) въ концъ трубы вытекаетъ полнымъ отверстіемъ, следовательно $\alpha = 1$; 3) единственное сопротивленіе, встречаемое водою на пути, состоитъ въ треніи оной о стѣнки трубы; 4) сопротивленіе возрастетъ прямо пропорціонально длинѣ трубы, и обратно ширинѣ ея, или діаметру; 5) при малыхъ скопахъ сопротивленіе слабѣе, и возрастаетъ прямо пропорціонально квадрату скорости; 6) треніа не зависитъ отъ давленія водянаго столба, и наконецъ 7) гдѣ бы не была приставлена труба къ сосуду, вверху, внизу, или въ срединѣ, расходъ воды не измѣнится если внѣшнее окно лежитъ на одной и той же высотѣ.

Потеря высоты, отнимаемая треніемъ воды при движеніи по трубъ, измѣряется по формулѣ.

$h_1 = \zeta \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$, гдѣ l —длина трубы; d —ея діаметръ; ζ —коэффициентъ треніа, опредѣляемый изъ опыта.

Пусть $F = \pi \frac{d^2}{4}$ —площади сѣченія трубы, а Q —расходъ воды то $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$. Следовательно столбъ воды, уничтожаемый треніемъ будетъ измѣряться:

$$h_1 = \zeta \frac{l}{d} \cdot \frac{1}{2g} \left(\frac{4Q}{\pi d^2} \right)^2 = \zeta \frac{l}{2g} \left(\frac{4}{\pi} \right)^2 \frac{1Q^2}{d^3}$$

Отсюда видно, что потеря полезной высоты возрастает прямо пропорционально диаметру трубы, возвышенному въ 5 степень. Следовательно если увеличить диаметр трубы въ 2 раза, то на потерю пойдетъ только $(\frac{1}{2})^5 = \frac{1}{32}$ части стока.

Коэффициенты трения изменяются вмѣстѣ со скоростью:

$$\text{когда } \nu = 0, \text{ то } \xi = \infty$$

$$\nu = 1 \text{ — } \xi = 0,0239$$

$$\nu = 2 \text{ — } \xi = 0,0211$$

$$\nu = 3 \text{ — } \xi = 0,0199$$

$$\nu = 4 \text{ — } \xi = 0,0191$$

$$\nu = 4,9 \text{ — } \xi = 0,0187$$

Здѣсь кетати сдѣлать одно замѣчаніе: при вычисленіи количества дѣйствія гидравлическихъ двигателей и при изслѣдованіи теоріи ихъ, многіе авторы пренебрегаютъ треніемъ воды и другими гидравлическими сопротивленіями. Наблюденія, сдѣланныя посредствомъ гидравлическаго прибора показали, что цилиндрическая трубка (стеклянная) длиною въ 8 футовъ и въ діаметръ 0,033 фута, отнимала треніемъ воды почти половину высоты водянаго столба, безъ трубы же, чрезъ отверстіе въ тонкихъ стѣнкахъ того же діаметра теряется, какъ извѣстно: $\nu_1 = 0,93 \nu$. Следовательно гидравлическими сопротивленіями, какъ треніемъ, сопротивленіемъ отъ кривизны, также какъ и сжатіемъ пренебрегать нельзя.

XV. Реакція есть законъ, существующій въ при-

родъ и обнаруживающійся въ случаѣ дѣйствія тѣлъ одно на другое. Напримѣръ, если какое нибудь тѣло, вооруженное извѣстною силою, встрѣтитъ на пути другое тѣло и ударитъ въ оное, то послѣднее, въ свою очередь, обнаружитъ противодѣйствіе, которое будетъ равно и прямо противоположно дѣйствию перваго. Этотъ законъ обнаруживается не только при взаимномъ дѣйствіи тѣлъ, но также и при такъ называемыхъ, притягивательныхъ и отталкивательныхъ силахъ (магнитъ), а также при дѣйствіи тяжести. Реакція проявляется даже и тогда, когда тѣло движется ускорительно: при каждомъ ускореніи оно оказываетъ движущей силѣ сопротивленіе, равное и прямо противоположное. Самый лучший примѣръ дѣйствія реакціи можно видѣть при движеніи воды въ сосудѣ и вытеканіи оной чрезъ отверстіе (фигура 48). Если въ сосудѣ отверстіе, чрезъ которое вода вытекаетъ, менѣе горизонтальнаго сѣченія (площади) сосуда, то струя течетъ по сосуду ускорительно: при этомъ движеніи, въ каждомъ различномъ сѣченіи, вода оказываетъ противудѣйствіе, обратное своему движенію. По этой причинѣ вертикальное давленіе на стѣнки сосуда всегда бываетъ менѣе того, которое соотвѣтствуетъ всей массѣ воды.

Опредѣлимъ силу реакціи теоретически. Для того возьмемъ горизонтальный слой АВ вытекающей воды въ сѣченіи g ; толщину слоя назовемъ чрезъ x ; ускореніе въ весьма малой промежутокъ времени чрезъ r ;

тяжесть водяного слоя будетъ: $G \times \gamma$, а масса: $\frac{G \times \gamma}{g}$; следовательно сила реакціи этого слоя выразится:

$R = \frac{G \times \gamma}{g}$. р. Назовемъ также чрезъ ω переменную скорость водяныхъ слоевъ въ различныхъ сѣченіяхъ, а чрезъ δ —приращеніе скорости въ сѣченіи ускоренія на пути x ; тогда:

$$px = \omega \delta; \text{ следовательно } R = \frac{G \gamma}{g} \omega \delta.$$

Пусть F будетъ площадь отверстія на днѣ сосуда а v —скорость вытеканія воды изъ онаго:

$$G \omega = F v, \text{ следовательно } R = \frac{F \gamma}{g} v \delta.$$

Чтобы получить величину реакціи всѣми слоями воды производимую, должно вмѣсто δ вставить сумму приращеній $\delta_0 \delta_1 \delta_2 \delta_3 \dots$. Будемъ имѣть:

$$R = \frac{F v}{g} \gamma (\delta_0 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots).$$

Назовемъ наконецъ чрезъ c скорость теченія воды въ самомъ сосудѣ, то сумма всѣхъ приращеній будетъ равна $v - c$, и сила R реакціи обратится:

$$R = \frac{F v}{g} \gamma (v - c) = \frac{(v - c)}{g} F v \gamma = \frac{v - c}{g} Q \gamma.$$

Въ случаѣ весьма малаго отверстія F въ сравненіи съ среднимъ сѣченіемъ сосуда скорость c можно принять за 0; тогда:

$$R = \frac{v^2}{g} F \gamma = 2 \frac{v^2}{2g} F \gamma = 2h. F \gamma.$$

Изъ этого слѣдуетъ заключить что сила реакціи рав-

на удару водяной струи въ плоскость, подь прямымъ угломъ постановленную; или, что все равно вѣсу столба воды, косяго основаніе составляетъ площадь отверстія, а высота въ 2 раза болѣе той, которая соотвѣтствуетъ скорости вытеканія (2h).

Если вода вытекаетъ чрезъ отверстіе, въ боку сосуда сдѣланное, (фигура 19), то конечно направленіе силы реакціи будетъ горизонтальное, а величина ея останется та же самая, то есть.

$$P = \frac{v^2}{g} F\gamma.$$

Все вышесказанное теоретическія выводы подтверждаются какъ нельзя вѣрнѣе опытомъ. Если представленный на фигурѣ 16 сосудъ сдѣлать вислицымъ на концѣ С, а къ сторонѣ, обратной вытеканію воды, придѣлать вѣсы, то посредствомъ оныхъ можно весьма легко опредѣлить величину реакціи. Первый примѣнилъ подобный приборъ къ измѣренію силы реакціи Англичанинъ Петръ Йвертъ (Ewart). Эти опыты можно сдѣлать также посредствомъ гидравлическаго аппарата Вейсбаха.

Изъ опытовъ, сдѣланныхъ послѣднимъ оказалось:

$P = 1,14 \frac{v^2}{2g} F\gamma$ — въ случаѣ вытеканія воды изъ отверстія въ тонкихъ стѣнкахъ сосуда.

Принявъ коэффициентъ сжатія $\alpha = 0,64$, получимъ:
 $F_1 = 0,64 F.$

Дѣйствительная скорость вытеканія воды чрезъ отверстіе будетъ:

$v_1 = 0,96$ v. Вычисливъ силу реакціи теоретически, получимъ:

$$P = 2 \frac{v_1^2}{2g} F \gamma = 2 \cdot (0,96)^2 \cdot 0,64 \frac{v^2}{2g} F \gamma.$$

$P = 1,18 \frac{v^2}{2g} F \gamma$, то есть, почти то же самое, что показали опыты: несогласіе выходитъ только на 0,14 часть.

Другой опытъ состоялъ въ слѣдующемъ: отверстие въ стѣнкѣ сосуда сдѣлано было на подобіе сжатой струи; при измѣреніи посредствомъ опыта сила реакціи оказалась:

$$P = 1,73 \frac{v^2}{2g} F \gamma.$$

Опредѣлимъ теперь, для принятаго случая, то же самое теоретически.

Здѣсь $\alpha = 1,0$ (ибо сжатія нѣтъ). $v_1 = 0,94$ v; тогда:

$$P = 2 \cdot (0,94)^2 \frac{v^2}{2g} F \gamma = 1,77 \frac{v^2}{2g} F \gamma.$$

Слѣдственно и въ этомъ случаѣ теорія почти совершенно согласна съ опытомъ.

Примѣчаніе. Надъ гидравлическимъ аппаратомъ были произведены также опыты для опредѣленія силы удара въ различныхъ случаяхъ. Результаты оныхъ будутъ описаны вмѣстѣ съ теоріей удара жидкихъ тѣлъ, что составитъ особую статью.

О вліянні, оказуваному коефіцієнтами сжатія (α), скорости (φ) и расхода (μ) на измѣненіе живыхъ силъ воды.

Узнавъ, для большей части случаевъ истеченія воды, величины α , φ и μ , любопытно знать: какое вліяніе эти коефіціенты производятъ на запасъ живыхъ силъ воды.

Коефіціентъ φ , уменьшая скорость истеченія водяной струи, непременно отнимаетъ часть живой силы; и чѣмъ онъ меньше, тѣмъ потеря больше.

Изъ предидущихъ опытовъ найдено, что для случая истеченія въ тонкихъ стѣнкахъ $\varphi = 0,97$.

Если назвать чрезъ v —теоретическую скорость истеченія воды, то дѣйствительная будетъ $v_1 = 0,97 v$.

Запасъ живыхъ силъ, соответствующій обѣимъ скоростямъ будетъ:

$\frac{v^2}{2g} Q\gamma$ и $\frac{1}{\varphi^2} \frac{v^2}{2g} Q\gamma$. Взявъ разность, получимъ:

$$\left(\frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v^2}{2g} - \frac{v^2}{2g} \right) = \left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \frac{v^2}{2g} Q\gamma$$

И если $\varphi = 0,97$; то

$$\left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \frac{v^2}{2g} Q\gamma = 0,063 \frac{v^2}{2g} Q\gamma. \text{ Слѣдственно при}$$

$\varphi = 0,97$ болѣе 6% запаса живой силы теряется.

Въ случаѣ $\varphi = 0,92$ получимъ:

$$\left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \frac{v^2}{2g} Q\gamma = \left(\frac{1}{(0,92)^2} - 1 \right) \frac{v^2}{2g} Q\gamma = 0,16 \frac{v^2}{2g} Q\gamma.$$

Точно такимъ же образомъ измѣряются потери для другихъ величинъ φ .

Горн. Журн. Кн. VIII. 1848.



Косфиціентъ расхода μ , при $\alpha = 1$, всегда бываетъ равенъ косфиціенту φ . Возьмемъ случай короткихъ цилиндрическихъ наставокъ: здѣсь струя не сжимается, и вытекаетъ полнымъ отверстіемъ, следовательно $\alpha = 1$; а $\mu = 0,815$; тогда $\mu = \alpha \varphi$, и $\mu = 1 \cdot \varphi = \varphi$.

Потеря живыхъ силъ опредѣляется по предидущему способу:

$$\left\{ \left(\frac{1}{\varphi} \right)^2 - 1 \right\} \frac{v^2}{2g} Q\gamma = \left\{ \left(\frac{1}{0,815} \right)^2 - 1 \right\} \frac{v^2}{2g} Q\gamma = 0,505 \frac{v^2}{2g} Q\gamma.$$

Какъ видно, въ этомъ случаѣ, потеря живыхъ силъ обнаруживается весьма значительная, то есть, болѣе чѣмъ 50%. На этомъ основаніи, при употребленіи воды, какъ двигателя, гораздо лучше выпускать воду изъ резервуара чрезъ отверстіе въ тонкихъ стѣнкахъ, чѣмъ чрезъ цилиндрическія наставки; ибо въ первомъ случаѣ теряется 6%, а во второмъ 50% полезнаго запаса.

Впрочемъ опытъ показаль (случай VII), что если стѣнки цилиндрической наставки, внутри, будутъ округлены, на подобіе фигуры 7, то $\mu = \varphi = 0,96$; и $\alpha = 1$.

Здѣсь потеря живой силы будетъ простирается до 8%.

Предидущее выраженіе:

$\left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \frac{v^2}{2g} \cdot Q\gamma$ надобно понимать такъ, что отъ препятствій, встрѣчаемыхъ струею воды на пути своемъ, теряется высота полезнаго напора. Она измѣряется выраженіемъ :

$\left(\frac{1}{\varphi^2} - 1\right) \frac{v^2}{2g}$, въ которомъ величина $\frac{1}{\varphi^2} - 1$ называется коэффициентомъ сопротивленія. Назовемъ ее чрезъ ζ_1 , то

$$\frac{1}{\varphi^2} - 1 = \zeta_1, \text{ и } \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_1}}$$

Изъ этихъ двухъ формулъ, по известной φ , можно опредѣлить ζ , и на оборотъ.

Коефициентъ сопротивленія ζ , не должно смѣшивать съ коэффициентомъ тренія ζ при движеніи воды по длиннымъ трубамъ.

Коефициентъ сжатія α не сопровождается потерей живыхъ силъ; ибо вода, оставшаяся по причинѣ сжатія струи въ резервуаръ, не потеряна, и остается въ запасъ. Но въ нѣкоторыхъ случаяхъ, какъ на примѣръ при цилиндрическихъ наставкахъ, отъ сжатія происходитъ измѣненіе скоростей, въ слѣдствіи чего обнаруживается ударъ и, соединенная съ нимъ, потеря живыхъ силъ отъ удара.

Этого рода потери измѣряются такъ (фигура 20);

$$v_1 = \frac{v}{\alpha}, \text{ слѣдственно}$$

$$v_1 - v = \frac{v}{\alpha} - v = v \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)$$

Взявъ квадратъ разности скоростей, по теоріи удара, получимъ: $\frac{v^2}{2g} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2$; и если $\alpha = 0,64$ то:

$$\frac{v^2}{2g} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2 = 0,07 \frac{v^2}{2g}, \text{ то есть, } 7\frac{2}{3} \text{ высоты теряется.}$$

Такъ опредѣляются потери отъ коэффициента сжатія (α).

Выше опредѣленъ былъ коэффициентъ потери отъ тренія воды при движеніи ея по довольно длиннымъ, прямымъ трубамъ. Но на практикѣ очень часто случается проводить воду по трубамъ изогнутымъ дугою, или даже ломаннымъ (*gebrochene Röhre*). Эти изгибы и повороты, задерживая теченіе воды, уменьшаютъ ея скорость, а съдѣствению поглощаютъ часть полезной высоты.

Коэффициентъ сопротивленія, въ случаѣ ломанныхъ трубъ, назовемъ чрезъ ξ_2 (*Kniewiderstands Coefficient*); а въ случаѣ изгиба дугою — назовемъ чрезъ ξ_3 (*Krümmungswiderstands Coefficient*).

Дана труба, изломанная въ сѣченіи с подь угломъ $\text{BCD} = 2\delta$ (фигура 21).

Истребленная этимъ сопротивленіемъ высота, измѣняется пропорціонально $\frac{v^2}{2g}$ и половинѣ угла излома; назвавъ потерянную высоту чрезъ h_1 , получимъ:

$$h_1 = \xi_2 \frac{v^2}{2g}, \text{ здѣсь:}$$

$$\xi_2 = 0,9457 \text{ Sin. } \delta^2 + 2,047 \text{ Sin. } \delta^3$$

По опытамъ Вейсбаха, найдено:

$$\delta = 10^\circ \quad 20^\circ \quad 30^\circ \quad 40^\circ \quad 50^\circ \quad 60^\circ \quad 70^\circ$$

$$\xi_2 = 0,046-0,139-0,364-0,740-1,260-1,861-2,471$$

Если труба изогнута дугою, то:

$$h_1 = \xi_3 \frac{\beta^\circ}{180} \frac{v^2}{2g} = \xi_3 \frac{\beta}{\pi} \frac{v^2}{2g}$$

Для квадратнаго сѣченія трубъ:

$$\xi_3 = 0,124 + 3,104 \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{7}{2}}$$

Для круглаго сѣченія трубъ:

$$\xi_3 = 0,131 + 1,847 \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{7}{2}}$$

Въ первомъ случаѣ:

$$\frac{r}{R} = 0,1 \text{ — } 0,2 \text{ — } 0,3 \text{ — } 0,4 \text{ — } 0,5$$

$$\xi_3 = 0,124 \text{ — } 0,135 \text{ — } 0,180 \text{ — } 0,250 \text{ — } 0,398$$

Во второмъ случаѣ:

$$\frac{r}{R} = 0,1 \text{ — } 0,2 \text{ — } 0,3 \text{ — } 0,4 \text{ — } 0,5$$

$$\xi_3 = 0,131 \text{ — } 0,138 \text{ — } 0,158 \text{ — } 0,206 \text{ — } 0,294$$

Примѣръ. Кривыя перья въ турбинѣ образуютъ каналы, (фигура 22), коихъ длина = 12 дюймамъ, ширина = 2 дюймамъ, высота также = 2 дюймамъ.

Вода стремится по каналамъ со скоростью 50 футовъ 1' времени. Требуется опредѣлить потерю высоты, поглощаемую кривизною каналовъ.

$$\frac{r}{R} = \frac{1}{8}; \xi_3 = 0,127; \frac{\beta}{\pi} = \frac{12}{\pi r} = \frac{12}{8\pi}$$

$$\frac{\beta}{\pi} = 0,4774; \text{ слѣдственно.}$$

$$h_1 = 0,127 \times 0,4774 \frac{v^2}{2g} = 2,424 \text{ футама.}$$

Этотъ выводъ дастъ потерянную, отъ кривизны канала, высоту.

При турбинахъ, гидравлическія сопротивленія, отнимающія часть полезной высоты, всегда довольно значительны; ибо скорость движенія воды по колесу большая, сопротивленія же возрастаютъ прямо пропорціонально квадрату скорости. Вотъ причина почему при устройствѣ турбины, въ особенности, должно наблюдать гладкость и ровность внутреннихъ каналовъ; а отверстія истеченія (приборъ кривыхъ водоспусковъ) дѣлать округленными.

2.

Опыты для опредѣленія потери живой силы, уничтожаемой устройствомъ спусковъ, употребляемыхъ при водяныхъ колесахъ на Уралѣ.

(Г. Капитана Рожкова).

Устройство спусковъ, употребляемое исключительно при построеніи водяныхъ колесъ на Уральскихъ казенныхъ заводахъ, состоитъ изъ четырехъ-сторонней пирамидальной наставки, къ верхнему концу, съ двухъ, боковыхъ сторонъ, расходящейся, и съ двухъ другихъ (верхней и нижней) сходящейся (фигура 23 и 24). Назначеніе ихъ, какъ очень понятно, есть проводить воду изъ резервуара (колодца или толкуна) къ водянымъ колесамъ. Вода, при движеніи по этимъ

каналамъ, подвергается нѣкоторымъ препятствіямъ, въ слѣдствіе которыхъ часть живой силы оной, неминуемо, должна теряться. При самомъ входѣ своемъ въ спускъ, струя воды сжимается, что составляетъ первую причину потери; далѣе: вода, двигаясь по каналу (спуску), коего сѣченія въ различныхъ вертикальныхъ плоскостяхъ не одинаково, испытываетъ измѣненіе въ скорости; въ слѣдствіе перемѣны скоростей происходитъ ударъ, и непременно связанная съ нимъ потеря живыхъ силъ отъ удара; наконецъ треніе воды о стѣнки канала, и кривизна вѣшняго конца спуска, представляютъ своего рода препятствія движенію воды.

Всѣ эти сопротивленія, вмѣстѣ взятая, отнимаютъ не маловажную часть полезнаго дѣйствія.

Цѣль опытовъ состояла въ томъ, чтобы опредѣлить мѣру этой потери, или, что все равно: опредѣлить практически коэффициентъ расхода при подобнаго рода спускахъ.

Подвергаемый опыту спускъ имѣлъ такіе размѣры: на внутреннемъ отверстіи (*Einmündung*) ширина окна $\equiv 0,037$ метрамъ, высота $\equiv 0,26$ метрамъ; на вѣшнемъ отверстіи (*Ausmündung*), ширина $\equiv 0,077$ метрамъ, высота $\equiv 0,011$ метрамъ; длина всего спуска $\equiv 0,45$ метрамъ. Онъ имѣлъ наклонъ подъ угломъ 25° ; вертикальное отстояніе центровъ внутренняго и вѣшняго отверстій, одинъ отъ другаго $\equiv 0,055$ метрамъ, высота водянаго столба надъ центромъ внутренняго

окна = 0,171 метрамъ: слѣдственно полный столбъ воды, считая отъ верхняго горизонта до отверстія истеченія (внѣшняго конца водоспуска) = 0,226 метрамъ. Спускъ былъ сдѣланъ изъ жести; края внутренняго окна не были округлены.

Опытъ показалъ, что если ставень поднять на всю высоту внутренняго окна, то вода вытекала изъ внѣшняго отверстія полною, неразрывною, прозрачною струей безъ сжатія; но когда ставень былъ поднятъ на половину высоты окна, то струя переставала уже быть непрерывною и вода вытекала, изъ внѣшняго окна, не полно. Эти два случая не надобно смѣшивать одинъ съ другимъ: ибо при первомъ, за отверстіе истеченія должно принимать внѣшнее окно, а при второмъ случай—внутреннее.

Коефициентъ расхода былъ опредѣленъ только для перваго случая.

Наблюденій сдѣлано было три, при трехъ различныхъ высотахъ водянаго столба. Показанія всѣхъ трехъ наблюденій между собою вполне согласны.

Результатъ получился такой:

Въ продолженіи 240'' времени вытекало воды изъ отверстія:

= 0,2400 кубическихъ метровъ; слѣдственно въ 1 секунду времени вытекаетъ воды:

$$\frac{0,2400}{240} = 0,001 \text{ кубическихъ метровъ.}$$

Эта данность найдена по измѣренію вмѣстимос-

ти сосуда, для собиранія вытеченной воды назначеннаго, и ксого размъры за равне были опредълены точно.

Площадь окна внъшняго отверстія (Ausmündung) $F = 0,077 \times 0,011 = 0,000847$ квадратных метр.

Высота водянаго столба надъ центромъ выпускнаго отверстія:

$$h = 0,226 \text{ метровъ.}$$

Слѣдственно скорость вытекания воды будетъ:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,226} = 2,106 \text{ метра.}$$

Почему расходъ воды долженъ быть: $Q = Fv = 0,000847 \times 2,106 = 0,0017858$ кубическихъ метр.

Какъ вода вытекала полною струей, не сжимаясь, то коэффициентъ сжатія въ этомъ случаѣ будетъ $= 1$, то есть $\alpha = 1$.

Чтобы получить коэффициентъ расхода, слѣдуетъ взять отношеніе между объемами воды, измѣреннымъ въ сосудѣ (0,001 кубическихъ метровъ) и найденнымъ по вычисленію (0,0017858) получимъ:

$\frac{0,001}{0,00178} = 0,56$. Это число и будетъ отыскиваемый въ коэффициентъ расхода (μ); а какъ коэффициентъ сжатія (α) $= 1$, то μ будетъ вмѣстѣ съ тѣмъ и коэффициентъ скорости (φ).

Опредѣлимъ теперь потерю работы, производимую спускомъ.

Вода стремится изъ внъшняго отверстія вытекать съ дѣйствительною скоростью v ; она въ состояніи развить работу въ единицу времени такую:

$$\frac{v^2}{2g} Q\gamma.$$

Теоретическая же скорость будетъ:

$$\frac{v}{\varphi} = \frac{v}{\mu}$$

Последней скорости соответствующая работа выразится чрезъ:

$\frac{v^2}{\varphi^2 2g} Q\gamma$. Эта величина выражаетъ запасъ живой силы воды, который она развила бы, если бы спускъ не представлялъ никакихъ сопротивлений. Отнявъ изъ оной величину первой работы, мы получимъ потерю:

$$\left\{ \frac{v^2}{\mu^2 2g} - \frac{v^2}{2g} \right\} Q\gamma = \left\{ \left(\frac{1}{\mu} \right)^2 - 1 \right\} Q\gamma \frac{v^2}{2g}$$

Слѣдственно потеря высоты водянаго столба будетъ:

$$x - h = \left\{ \left(\frac{1}{\mu} \right)^2 - 1 \right\} \frac{v^2}{2g}$$

По опытамъ найдено, что $\mu = 0,56$;

Почему:

$$x - h = \left\{ \left(\frac{1}{\mu} \right)^2 - 1 \right\} \frac{v^2}{2g} = 2,189 \frac{v^2}{2g} = x - h = 2,189 h$$

Этотъ выводъ показываетъ, что болѣе, чѣмъ двойная высота водянаго столба, оставленнаго надъ выпускнымъ окномъ, теряется отъ сопротивлений; почему, чтобы произвести живую силу, соответствующую скорости v , слѣдуетъ надъ выпускнымъ окномъ оставить высоту, равную:

$$x = 2,189 h + h = 3,189 h.$$

Для сравненія я приведу въ примѣръ нѣсколько случаевъ другихъ водоспусковъ. Самый простѣйшій и вмѣстѣ съ тѣмъ выгоднѣйшій, по малой тратѣ полъзнаго дѣйствія, есть тотъ, когда вода вытекаетъ изъ отверстія, коего края округлены на подобіе сжатой струи (фигура 25).

Въ этомъ случаѣ: $\alpha = 1$, а $\mu = \varphi = 0,96$.

Потеря работы будетъ простирается:

$$\left\{ \left(\frac{1}{\varphi} \right)^2 - 1 \right\} \frac{v^2}{2g} Q\gamma = \left\{ \left(\frac{1}{0,96} \right)^2 - 1 \right\} \frac{v^2}{2g} Q\gamma = 0,08 \frac{v^2}{2g} Q\gamma$$

Слѣдственно здѣсь теряется только 8% полезнаго дѣйствія, или, все равно: 8% высоты водянаго столба.

Другой примѣръ: возьмемъ случай цилиндрической наставки, коей длина была бы въ 3 раза болѣе діаметра (фигура 26). Тутъ $\alpha = 1$; а $\mu = \varphi = 0,815$.

Потеря работы будетъ:

$$\left\{ \left(\frac{1}{0,815} \right)^2 - 1 \right\} \frac{v^2}{2g} Q\gamma = 0,505 \frac{v^2}{2g} Q\gamma, \text{ или потеря высоты}$$

$$\text{водянаго столба: } = 0,505 \frac{v^2}{2g} = 0,505 h.$$

Въ этомъ случаѣ теряется 50%, или половина высоты водянаго столба, тогда какъ при руслѣ, употребляемомъ на Уральскихъ заводахъ, теряется отъ сопротивленій до 219%.

Должно замѣтить, что опредѣленный изъ опыта коэффициентъ расхода относится къ случаю, когда ставень поднятъ на все окно. Но если окно открыто на половину, или вообще не полно, то коэффициентъ расхода будетъ другой. Здѣсь за отверстіе

истечения слѣдуетъ принять внутреннее окно; ибо давленіе вѣшняго, атмосфернаго воздуха будетъ обнаруживаться при этомъ окнѣ, (фигура 27), и формула, для опредѣленія дѣйствительной скорости въ концѣ спуска, будетъ слѣдующая:

$$v = \sqrt{\varphi^2 C^2 + k 2gh_1} = \sqrt{(0,9 h + kh_1) 2g};$$

гдѣ k есть число, которое слѣдуетъ опредѣлить изъ опыта. Оно выражаетъ напоръ живой силы, изтребленной треніемъ воды по спуску, измѣненіями скоростей при движенію по оному и кривизною вѣшняго конца.

Другой опытъ, сдѣланный Профессоромъ Вейсбахомъ, состоялъ въ опредѣленіи величины полезнаго дѣйствія, производимаго вертикальными колесами по образцу строенныхъ на Уралѣ. Для этой цѣли, къ описанному выше спуску, придѣлана была модель колеса, косяго размѣры были слѣдующіе: діаметръ $= 0,310$; разность $= 0,090$; ширина обода $= 0,025$, число перьевъ 24.

Производимая работа измѣрялась посредствомъ тяжести, поднимаемой на веревкѣ валомъ колеса.

Поднимаемый грузъ (тяжесть) $= 1$ килограмму; а высота, на какую онъ былъ поднимаемъ $= 1,87$ метрамъ. Слѣдственно работа отъ сопротивленія измѣрялась: 1,87 килограмметрами.

Расходъ воды, вытекаемый въ единицу времени $= 0,001$, кубическимъ метрамъ $= Q$.

Подъемъ тяжести, или груза на высоту 1,87 метровъ, продолжался до 12",25 времени; почему:

$$Q_t = 0,001 \times 12,25 = 0,01225 \text{ кубическихъ метр.}$$

Всѣхъ воды будетъ:

$$Q_{1y} = 0,01225 \times 1000 = 12,25 \text{ килограммовъ.}$$

Высота водянаго столба, на которой вода развертывала свое дѣйствіе посредствомъ тяжести = 0,27 метрамъ, высота столба, измѣряемая непосредственно надъ колесомъ = 0,226; следовательно полный водяной столбъ былъ = 0,27 + 0,226 = 0,496 метр.

Запасъ работы, соответствующей выведенному выше расходу и этому столбу, будетъ:

$$Q_{hy} = 0,496 \times 12,25 = 6,0760 \text{ килограмметровъ.}$$

На этомъ основаніи отношеніе полезной работы, развертываемой колесомъ, къ полному запасу, получится:

$$\frac{1,860}{6,070} = 0,30 = \text{п.}$$

Следственно, строямыя водяныя, вертикальныя колеса, обращаютъ въ пользу только 30% полного запаса. Опытный путь, посредствомъ котораго полученъ такой выводъ, не даетъ мѣста ни малѣйшему сомнѣнію въ справедливости его.

Этими опытами Профессоръ Вейсбахъ оказалъ большую услугу, которая, безъ сомнѣнія, будетъ оценена всякимъ, интересующимся дѣломъ о построеніи водяныхъ колесъ.

Опыты были сдѣланы во Фрейбергъ, въ Апрѣль

мѣсяцъ минувшаго 1848 года. Модели какъ колеса, такъ и спуска, присоединены къ гидравлическому аппарату.

3.

О ВЕРТИКАЛЬНЫХЪ ВОДЯНЫХЪ КОЛЕСАХЪ.

(Г. Капитана Рожкова).

Въ последнее время построеніе вертикальныхъ водяныхъ колесъ значительно уменьшилось повсемѣстнымъ и быстрымъ распространеніемъ турбинъ. Нельзя сказать, чтобы новыя горизонтальныя колеса превосходили, относительно полезнаго дѣйствія, старыя вертикальныя: напротивъ, до сихъ поръ, и очень справедливо, считается, что вертикальное верховойное, отчетливо во всѣхъ отношеніяхъ исполненное колесо, всегда останется наилучшимъ, ни однимъ изъ вновь изобрѣтенныхъ колесъ, не превзойденнымъ гидравлическимъ приѣмникомъ. Но къ сожалѣнію, случаи, когда это колесо можетъ быть примѣнено съ наибольшею пользою, весьма ограничены. Если столбъ воды, скопленный плотиною, измѣняется въ продолженіи года, во время изобильнаго и маловоднаго, въ довольно большихъ предѣлахъ, напримѣръ отъ 7 до 10 и болѣе футовъ (какъ это случается

часто у насъ, на Уралѣ), то возведеніе вертикальныхъ колесъ сопряжено съ большими неудобствами, и выгодно дѣйствовать они никогда не могутъ,— турбины же могутъ дать здѣсь результаты болѣе выгодныя. Допустимъ, что горизонтъ воды въ прудѣ постояненъ, или измѣняется въ теченіи цѣлаго года, но весьма мало, на примѣръ на 2 фута (не болѣе); то учрежденіе вертикальныхъ колесъ можетъ быть особенно выгодно только для водяныхъ столбовъ въ 40 футовъ; для столбовъ же воды свѣше этого предѣла постройка ихъ уже трудна и дорога. Столбъ воды въ 50 футовъ можно считать послѣднимъ предѣломъ, при которомъ еще можно примѣнить съ пользою вертикальное водяное колесо; а самый низкій предѣлъ можно положить 25 футовъ, и даже 20 футовъ. Для водяныхъ столбовъ въ 15 футовъ, и свѣше, очень хорошо устройство, такъ называемаго, наливнаго колеса (*rückenschlägiges Wasserrad*). Слѣдственно во всѣхъ этихъ случаяхъ, то есть, начиная отъ 15 футоваго водянаго столба и до 40 футовъ включительно, вертикальныя колеса дадутъ наилучшій успѣхъ. Для водяныхъ столбовъ ниже 15 футовъ, какъ то: въ 10, 8 и 7 футовъ употребляютъ большею частію среднебойныя и подливныя колеса; но какъ тѣ, такъ и другія должны уступать мѣсто турбинамъ въ отношеніи успѣха дѣйствія. Особенный родъ только среднебойныхъ колесъ съ кривыми перьями и, съ обхватывающимъ колесо, жолобами (*kropfrad*) мо-

жетъ спорить съ лучшими турбинами при напорѣ въ 10 и 12 футовъ.

И такъ вертикальныя водяныя колеса могутъ быть полезны, какъ ни одно изъ другихъ устройствъ, во первыхъ: въ случаѣ постояннаго, неизмѣннаго въ теченіе года водянаго столба, и во вторыхъ: въ случаѣ, если высота водянаго столба заключается въ предѣлахъ отъ 20 до 40 футовъ. Разумѣется, что эти случаи встрѣчаются рѣдко.

Въ путешествіи моемъ я видѣлъ очень много вертикальныхъ колесъ превосходно соображенныхъ и отчетливо выполненныхъ. При осмотрѣ ихъ я особенно обращалъ вниманіе на то: изъ какого матеріала колеса построены, какіе размѣры различнымъ частямъ его приданы въ поперечномъ сѣченіи, способъ скрѣпленія этихъ частей, такъ чтобы колесо составляло одно цѣльное, неизмѣнно и крѣпко связанное устройство, и наконецъ способъ привода, или передачи движенія къ исполнительной машинѣ. Составить чертежъ колеса, теоретически правильный, то есть, въ предположеніи условій самаго лучшаго употребленія запасенной работы, весьма легко; но какія части изъ какого матеріала, изъ дерева, чугуна, или желѣза, сдѣлать; какіе размѣры имъ придать въ поперечномъ сѣченіи, какъ ихъ расположить, и наконецъ какъ наилучшимъ образомъ передать дѣйствіе колеса; вотъ вопросы, которые надлежитъ изслѣдовать во всей подробности.

Мнѣ рѣдко случалось видѣть совершенно металлическія колеса. Большею частию строятъ ихъ такъ, что нѣкоторыя части изъ дерева, другія изъ чугуна, или желѣза. Изъ наиболѣе употребляемыхъ соединеній матеріаловъ, слѣдующія случалось мнѣ видѣть чаще всего:

1) Перья, опалубка, вѣнцы, ручки и валъ изъ дерева; вѣнецъ зубчатого, передаточнаго колеса, розетки и цапфы изъ чугуна;

2) Валъ, розетки и цапфы изъ чугуна; ручки, вѣнецъ и опалубка изъ дерева; перья изъ желѣза. (По этой системѣ построены почти все водяныя колеса во Фрейбергскомъ округѣ);

3) Ручки, перья и опалубка изъ дерева или желѣза; все же прочія части чугунныя.

4) Валъ, розетки и цапфы чугунныя; перья, опалубка, ободы и ручки желѣзныя. Эта система предпочтительно употребляется при колесахъ сильныхъ, въ 40, 50 и 70 паровыхъ лошадей.

Безспорно, что металлическое колесо, въ сравненіи съ деревянными, всегда имѣетъ перевѣсъ передъ послѣднимъ, относительно развертываемаго полезнаго дѣйствія, правильности хода, и продолжительности существованія; но при всемъ томъ, не вездѣ ихъ охотно строятъ. Во Фрейбергскомъ горномъ округѣ все движущія водяныя колеса сдѣланы изъ дерева, исключая перьевъ, которыя здѣсь предпочитаютъ дѣлать изъ желѣза. Въ 1831 году здѣсь было построено

по одно металлическое (чугунное) колесо; но оно, по происшествіи двухъ недѣльнаго дѣйствія, сломалось, и послѣ этого опыта металлическія колеса не строятъ. Въ Богеміи, изъ видѣнныхъ мною колесъ, почти все деревянные, только валъ и розетки чугунныя. И здѣсь пробовали устанавливать колеса съ чугунными перьями, ручками и ободами; но они оказались неудобными въ томъ отношеніи, что во время зимы металлъ покрывался довольно толстымъ слоемъ льду, при отбивкѣ котораго ободы, а особливо ручки часто ломались. Въ Штирії и Каринтіи принято кажется за правило строить, исключительно, деревянные колеса. Впрочемъ слѣдуетъ сказать, что первая и главнѣйшая причина — заключается въ томъ, что металлъ, въ тѣхъ странахъ, очень дорогъ, а дерево очень дешево. Въ Нейбергѣ, въ Штирії, дѣйствуетъ превосходно выполненное металлическое колесо, но оно стоитъ чрезвычайно дорого. По отзыву Профессора Туннера (въ Фордерибергѣ) сооруженіе металлическаго колеса здѣсь стоитъ въ 5 разъ дороже, чѣмъ деревяннаго; а время существованія обоихъ родовъ колесъ почти одинаково. На Рейнскихъ заводахъ, наоборотъ, металлъ дешевъ, а дерево дорого; а потому здѣсь наиболѣе строятъ металлическія колеса.

Вообще должно замѣтить, что къ постройкѣ металлическихъ колесъ слѣдуетъ приступать съ болѣею осторожностію; ибо есть много случаевъ, когда построченіе оныхъ влечетъ за собой вовсе невы-

годныя послѣдствія, то есть, ходъ ихъ бываетъ неправиленъ, поломки и поправки безпрестанныя, и выгоднаго дѣйствія, отъ подобныхъ колесъ, уже никакъ нельзя ожидать. Металлическое колесо можетъ быть хорошо и отчетливо выполнено только въ механическихъ фабрикахъ: ручными способами нельзя придать той вѣрности и акуратности частямъ его, необходимой для равномерной тяжести и правильнаго хода; слѣдственно, тамъ, гдѣ нѣтъ машиннаго заведенія, построеніе металлическихъ колесъ, во первыхъ, затруднительно и дорого, а во вторыхъ, представляетъ возможность построить колесо худо.

Второе условіе зависитъ отъ климата страны. Если необходимо бываетъ иногда даже и деревянные колеса, въ холодныхъ странахъ, устанавливать въ особенныхъ теплыхъ кожухахъ, то тѣмъ болѣе это неизбѣжно при колесахъ металлическихъ. Если металлъ покроеся льдомъ, то трудно отбивать оный: при ударахъ легко можно сломать тонкую часть.

Наконѣцъ, для построенія колесъ, металлъ долженъ быть самыхъ лучшихъ качествъ, особенно чугунная отливка. При этомъ надобно замѣтить, что крѣпость какъ чугуна, такъ и желѣза должна быть въ точности опредѣлена опытами.

На Уральскихъ заводахъ строить, исключительно, деревянные колеса. Металлическія, въ первый разъ, построены на новомъ Монетномъ Дворѣ, въ Екатеринбургѣ; число установленныхъ колесъ 7; въ нихъ

валъ, розетки и ободья чугуныя, перья, ручки и оналубка, желѣзныя. По причинѣ останова чеканки мѣдной монеты, вновь построенный Монетный дворъ не былъ пущенъ въ дѣйствіе; по этому объ успѣхъ новыхъ колесъ ничего нельзя сказать. Къ неудобствамъ построенія металлическихъ колесъ, на нашихъ Уральскихъ заводахъ, слѣдуетъ еще то прибавить, что опытовъ надъ сопротивленіемъ желѣза и чугуна у насъ не сдѣлано, и намъ опредѣлительно неизвѣстно какою тяжестью должно обременять части машины, чтобы, при данныхъ имъ размѣрахъ, они въ состояніи были оказать достаточное сопротивленіе; а очень понятно, что излишество въ размѣрахъ частей машины также вредно, какъ и недостатокъ.

При постройкѣ вертикальныхъ колесъ самый важный предметъ составляетъ, безъ сомнѣнія, способъ соединенія ободовъ, и слѣдственно наливаемыхъ водою ящичковъ, съ боевымъ валомъ, разсматривая это независимо отъ матеріала и расположенія связывающихъ частей каковы: ручки и розетки. Абсолютная крѣпость колеса зависитъ, во первыхъ, отъ силы его, а во вторыхъ, отъ способа передачи движенія. Чѣмъ сильнѣе колесо, тѣмъ болѣе увеличиваются его размѣры, а крѣпость дѣлается тѣмъ слабѣе. При колесѣ въ 80 паровыхъ лошадей размѣры его оказываются уже огромными, и принято за правило, что самая большая сила, которую можно придать колесу, не должна превышать этотъ предѣлъ; и по-

тому если потребуется построить колесо въ 80 паровыхъ лошадей, то лучше вмѣсто одного установить два, каждый въ сорокъ паровыхъ лошадей.

Система передачи движенія отъ водянаго колеса имѣетъ также вліяніе на его абсолютную крѣпость; ибо приводъ устанавливаетъ отношеніе между точками приложенія, дѣйствующей силы и преодолеваемого сопротивленія. Изъ системъ передачи движенія къ исполнительній машинѣ, употребляется большею частію обыкновенная, давно извѣстная, система передачи посредствомъ пары зубчатыхъ колесъ, укрѣпленныхъ на валу, въ небольшомъ разстояніи отъ розетки. Но мнѣ часто случалось видѣть, особенно на фабричныхъ заведеніяхъ, что зубчатое колесо, назначаемое для привода, прикрѣпляется непосредственно къ ободу водянаго колеса, составляясь изъ 6 или 8 частей. Этотъ способъ привода примѣняютъ предпочтительно предъ всѣми. Онъ представляетъ много выгоды въ сравненіи съ первымъ, обыкновеннымъ. Большое зубчатое колесо отливается не цѣльное, а по частямъ; въ случаѣ поломки одного зубца дѣлается не годнымъ къ дѣлу не все колесо, а только часть его ($\frac{1}{6}$, или $\frac{1}{8}$, смотря по діаметру), которую тотчасъ можно замѣнить новою, имѣющеюся въ запасѣ. Кромѣ того этотъ приводъ позволяетъ уменьшать толщину ручекъ и вала; ибо дѣйствующая сила и сопротивленіе приложены въ одной плоскости, и при томъ направлены въ обратныя стороны. Наконецъ треніе

цапфъ боеваго вала, обнаруживается значительно меньше, въ слѣдствіи уничтоженія дѣйствующей силы сопротивленіемъ въ одной плоскости. Конечно, отдѣльное, не прикрѣпленное къ ободу зубчатое колесо, посаженное на валу, будетъ также хорошо для привода, но при этомъ необходимо соблюсти главное условіе: чтобы точки приложенія силы и сопротивленія лежали въ одной вертикальной плоскости, и при томъ были направлены въ обратныя стороны. На одномъ изъ Каринтійскихъ заводовъ, въ Линецбахъ, построено деревянное колесо, приводящее въ движеніе три пары прокатныхъ машинъ; діаметръ колеса равенъ 25 футамъ, а разность $= 5$ футамъ; устройство его верховойное, на боевомъ валу посажено зубчатое колесо, коего діаметръ $= 18$; шестерня установлена на боку зубчатаго колеса, соответствующемъ той сторонѣ водянаго колеса, которая движется вверхъ. При этомъ приводъ сила и сопротивленіе приложены въ различныхъ плоскостяхъ и притомъ направлены въ одну сторону; слѣдственно здѣсь ручки и валъ обременены весьма значительною силою, или тяжестію. Не выгодноѣ подобнаго установка ничего не можетъ быть.

Когда извѣстна сила колеса и способъ передачи дѣйствія, то размѣры, въ поперечномъ сѣченіи, различныхъ частей, какъ то ручки, розетокъ и вала можно легко опредѣлять; ибо, тогда извѣстны будутъ сопротивленія, которымъ подвержены эти части.

Заслуживаетъ вниманіе особенный способъ расположенія ручекъ, въ послѣднее время довольно часто употребляемый при построеніи вертикальных колесъ. Онъ въ первый разъ примененъ въ Sainerhütte (недалеко отъ Кобленца) механикомъ Алтансомъ. При колесахъ металлическихъ, ручки (чугунныя, или желѣзныя, все равно) укрѣплялись въ розетки посредствомъ винтовыхъ болтовъ и направлялись отъ центра вала по радіусу; при такомъ расположеніи сила и сопротивленіе стремятся переломить ручки. Въ новомъ способѣ, ручки направлены по касательнымъ линіямъ къ окружности розетки и схвачены у обода по парно. Здѣсь сила и сопротивленіе стремятся растянуть ручки; слѣдственно эти послѣднія, при новомъ расположеніи, въ состояніи болѣе оказать сопротивленія; ибо во всякомъ случаѣ несравненно труднѣе растянуть желѣзный пруть, чѣмъ переломить его. Я видѣлъ новое расположеніе ручекъ при металлическомъ колесѣ въ Стеркрадѣ; также въ заводѣ Бланковѣ, въ Моравіи, при новомъ колесѣ, постройкою совершенно оконченомъ, но еще не установленномъ на мѣсть. Въ немъ: перья, опалубка, ободья сдѣланы изъ котельнаго желѣза; ручки изъ брусковаго; валъ и розетки чугунныя; колесо назначено приводить въ движеніе воздушную машину силою въ 14 паровыхъ лошадей. Въ Стеркрадѣ колесо сдѣлано въ 45 паровыхъ лошадей. При такой большой силѣ замѣчено, что винты на кон-

цахъ ручекъ часто портились; отъ чего необходимо бываетъ при употребленіи системы тангенціальныхъ ручекъ винты дѣлать въ обводъ и наръзывать глубже. Подобныя колеса строятъ также въ Цюрихъ, въ заведеніи Г. Эшера. Здѣсь строятъ огромной величины колеса, силою въ 60 и 70 паровыхъ лошадей. Примѣняя тангенціальное расположеніе ручекъ, при такихъ большихъ колесахъ, необходимо бываетъ стягивать ободья особыми штангами, идущими по разносу; безъ этой предосторожности и при легкости ручекъ легко можетъ разстроиться связь между ободьями.

Говоря о вертикальныхъ водяныхъ колесахъ, было бы несправедливо умолчать о любопытныхъ теоретическихъ изслѣдованіяхъ, сдѣланныхъ въ послѣднее время Профессоромъ Редтенбахеромъ.

Теоретическая формула, служащая для вычисленія полезнаго дѣйствія водяныхъ колесъ, предложена Французскими учеными. Начала, на основаніи которыхъ она выведена, состоятъ въ слѣдующемъ:

- 1) Струя воды встрѣчаетъ колесо въ извѣстой точкѣ окружности съ опредѣленною скоростію, зависящею отъ высоты водянаго столба;
- 2) При входѣ на колесо она разлагается на двѣ составляющія и дѣйствуетъ на перо посредствомъ удара одной изъ составляющихъ;
- 3) Покоясь въ ящикахъ колеса, дѣйствуетъ своею тяжестію, начиная отъ самой точки входа на колесо.

со и продолжая до горизонта водосточнаго канала;

4) Наконецъ уносясь съ абсолютною скоростію, оставляетъ колесо.

Эта формула выражается, какъ извѣстно, такъ:

$$Pv = 1000 Qh + 1000 Q \frac{(V - v)v}{g}$$

Въ ней первый членъ выражаетъ работу воды, развертываемою дѣйствіемъ тяжести; а второй дѣйствіемъ удара. Иначе, въ предположеніи наилучшаго дѣйствіе, можно выразить эту формулу такъ:

$$Pv = 1000 Q \left\{ h + \frac{1}{2} h_1 \right\}; \text{ ибо } v = \frac{1}{2} V.$$

При начертаніи новаго колеса, величины Q и $(h + h_1) = H$ бывають извѣстны, а V и v могутъ быть взяты произвольно. Вопросъ приводится къ тому: какое отношеніе должно имѣть мѣсто между этими двумя скоростями, чтобы соображаемое колесо развертывало полный запасъ работы.

Это условіе возможно только въ одномъ случаѣ, именно, когда $V = v = 0$; то есть, когда колесо движется безконечно медленно, и вода входитъ на оно съ безконечно малою скоростію. Разумѣется, что эти условія на практикѣ не могутъ быть осуществлены, и что построенныя и дѣйствующія колеса значительно уклоняются отъ этихъ условій, такъ сказать, идеальнаго колеса. Если вычислить полезное дѣйствіе ихъ по этой формулѣ, то полученные результаты, безъ всякаго сомнѣнія, будутъ не вѣрны. Чтобы умень-

шить, или даже вовсе уничтожить эту неѣрность, обыкновенно употребляютъ практическіе коэффициенты, выведенные изъ опыта, и умножаютъ на нихъ оба члена формулы. Исправленная такимъ образомъ формула приметъ такой видъ:

$$Pv = A \cdot 1000 Qh + B \cdot 1000 Q \frac{(V - v) v}{g}$$

Опытами надъ подливными колесами занимались многіе ученые, въ числѣ томъ: Smeaton, Borda, Bossut, и другіе; надъ среднебойными, и верхобойными, Моренъ. Они вывели слѣдующіе практическіе коэффициенты:

I. Для подливныхъ колесъ:

$B = 0,61$; и формула для опредѣленія работы колеса будутъ:

$Pv = 0,61 \cdot 1000 Q \frac{(V - v) v}{g}$; ибо величина h при этомъ родѣ колесъ $= 0$.

II Для колесъ среднебойныхъ съ концентрическимъ жолобомъ:

$A = B = 0,75$. Формула обратится:

$$Pv = 750 Q \left\{ h + \frac{(V - v) v}{g} \right\}$$

III. Для наливнаго колеса, принимающаго воду съ боку:

$A = B = 0,799$. Почему:

$$Pv = 799 Q \left\{ h + \frac{(V - v) v}{g} \right\}$$

IV. Для верхобойныхъ колесъ: Моренъ нашелъ: $A = 0,78$; $B = 1,0$. Слѣдственно:

$$Pv = 780 Qh + 1000 Q \frac{(V - v) v}{g}$$

Теорія всякаго гидравлическаго колеса должна рѣшать два вопроса: 1) когда колесо построено и находится въ дѣйстви, то по извѣстнымъ размѣрамъ его и по извѣстному состоянію движенія, она должна опредѣлить вѣрно и точно производимое полезное дѣйствіе; 2) когда колесо назначается построить, то при начертаніи его теорія должна давать всѣ размѣры, имѣющіе вліяніе на полезное дѣйствіе, въ томъ предположеніи, чтобы развертываемая новымъ колесомъ работа, если не равнялась совершенно абсолютному дѣйствію, то была бы наивозможно большая. Вышеприведенныя формулы, исправленныя опытными множителями, принимались всѣми въ одинаковой степени вѣрными для всѣхъ колесъ, какъ бы различно они построены ни были, лишь только принадлежали бы къ одному и тому же роду. Но теперь, если взять два колеса одной системы, на примѣръ оба верхобойныя: пусть одно изъ нихъ будетъ построено совершенно одинаково съ тѣмъ, которое служило для вывода опытнаго коэффициента, а другое будетъ совершенно различно съ первымъ, то есть, какъ діаметръ его, такъ и разность будутъ въ $1\frac{1}{2}$, или 2 раза болѣе или менѣе; шпички будутъ наполняться неодинаково съ первымъ; кривизна и число перьевъ также будетъ различны; то конечно, полезное дѣйствіе, развертываемое обоими колесами,

вовсе не одно и то же, а между тѣмъ теоретическая формула даетъ одинаковый результатъ для обоихъ колесъ. Слѣдственно теорія первый вопросъ вполне не рѣшаетъ. Но въ какой мѣрѣ она удовлетворяетъ второму вопросу?

Въ предложенной формулѣ содержатся четыре величины: Q , H , V и v . При соображеніи новаго колеса, предполагаемаго къ постройкѣ въ какомъ нибудь мѣстѣ, величины Q и H бываютъ всегда даны; ибо всегда заранее извѣстно: что желаютъ исполнять машиной и какія для того имѣются въ запасѣ средства; остальные двѣ величины V и v произвольны, и теорія можетъ указать то отношеніе между ними, при которомъ колесо будетъ дѣйствовать съ наибольшою выгодною, но только между двумя величинами, не болѣе; а между тѣмъ на развертываемое полезное дѣйствіе имѣютъ вліяніе размѣры другихъ частей колеса, какъ то: діаметръ, разность, степень наполненія ящичковъ водою, глубина ихъ, кривизна перьевъ и число ихъ; объ отношеніи и зависимости между величинами всѣхъ поименованныхъ частей теорія не даетъ никакого рѣшенія. Строители пользуются при составленіи проэкта особенными практическими замѣчаніями, или каждый строить по своему произволу, болѣе или менѣе вѣрно, болѣе или менѣе ошибочно.

Вотъ взглядъ, сдѣланный на предметъ Профессоромъ Редтенбахеромъ въ послѣднее время. Имѣя

множество случаевъ убѣдиться въ невѣрности теоретическихъ выводовъ съ опытыми наблюденіями, Редтенбахеръ отвергъ формулы, предложенныя Французскими учеными, и составилъ свою теорію вертикальныхъ гидравлическихъ колесъ. Въ новой теоріи Редтенбахеръ выражаетъ полезное дѣйствіе въ зависимости отъ размѣровъ всѣхъ частей колеса, и выводитъ изъ нихъ условія наивыгоднѣйшаго дѣйствія. Развивъ свою теорію, Редтенбахеръ, составилъ формулу для вычисленія полезнаго дѣйствія построеннаго колеса, которая, конечно, можетъ дать вѣрный результатъ. Онъ сперва вычисляетъ всѣ потери имѣющія мѣсто при дѣйствіи колеса.

Эти потери состоятъ:

- 1) Потеря работы при входѣ и выходѣ воды изъ колеса;
- 2) Потеря работы отъ преждевременнаго вытекания воды съ колеса;
- 3) Потеря отъ сопротивленія воздуха;
- 4) Потеря отъ тренія воды;
- 5) Потеря отъ тренія цапфъ босаго вала.

Выразивъ, со всею строгостію, всѣ эти потери для каждаго рода колеса отдѣльно, Редтенбахеръ отнимаетъ ихъ отъ полнаго запаса работы. Всѣ изслѣдованія его по этой части въ высшей степени любопытны и полезны; особенно при выводѣ условій наибольшаго полезнаго дѣйствія. Редтенбахеръ всѣ свои теоретическіе выводы подтверждаетъ вычисленіями,

сдвиганными имъ надъ остроосными и дѣйствующими колесами.

4.

Краткій обзоръ гидравлической системы, употребляемой на Уральскихъ заводахъ.

(Г. Капитана Рожкова).

На Уральскихъ заводахъ главный и единственный движитель есть вода. Для составленія запаса работы, она запруживается плотиною, которая собираетъ водной столбъ въ 25 и даже въ 50 футовъ высоты. Пруды образованы, по большей части, въ пространныхъ и глубокихъ долинахъ и въ состояніи скопить воды для дѣйствія 400 паровыхъ лошадей и болѣе. Изъ пруда къ водянымъ колесамъ вода проводится ларемъ или трубою. Какъ тотъ такъ и другая, закладываются около самой середины водянаго столба; на нѣкоторыхъ заводахъ верхній столбъ, стоящій надъ порогомъ, превышаетъ нижній. Назначеніе водопроводныхъ ларей или трубъ состоитъ слѣдственно въ томъ, чтобы доставить воду къ дѣйствующимъ колесамъ. Такъ какъ вода въ водопроводъ должна бѣжать съ извѣстною скоростью, то при этомъ обнаруживается первое сопротивленіе, а слѣдственно и первая потеря полезнаго панора. Оно зависить

отъ отношенія расхода воды въ 1 времени требуемаго всѣми гидравлическими колесами, къ размѣрамъ водопроводнаго ларя или трубы.

Вовсе уничтожить потерю напора въ водопроводахъ нельзя по той причинѣ, что для того потребовалось бы размѣры ларя или трубы сдѣлать безконечно большими. Лучше пожертвовать небольшою частію полезной высоты, чтобы избѣжать издержекъ на сооруженіе огромнаго водопровода.

Чтобы видѣть зависимость, существующую между размѣрами водопровода и потерей высоты при известномъ расходѣ воды для дѣйствій гидравлическихъ колесъ въ заводѣ, я приведу вычисленіе всѣхъ сопротивленій, встрѣчающихся при движеніи воды по ларю или трубѣ. Эти сопротивленія происходятъ:

1) Отъ сжатія струи: здѣсь потеря напора измѣняется по формулѣ:

$$h_0 = \left(\frac{1}{\alpha^2} - 1 \right) \frac{v^2}{2g} = \xi \frac{v^2}{2g};$$
 полагая $\left(\frac{1}{\alpha^2} - 1 \right) = \xi =$ коэффициенту сопротивленія отъ сжатія.

2) Отъ тренія по стѣнамъ водопровода. Въ случаѣ ларя сопротивленіе измѣняется по слѣдующей формулѣ:

$$h_1 = \xi_1 \frac{l p}{F} \frac{v^2}{2g};$$
 здѣсь $\xi_1 =$ коэффициенту тренія, $l =$ длинѣ водопровода; $p =$ периметру; $F =$ площади въ поперечномъ сѣченіи.

Въ случаѣ трубы:

$h_1 = \zeta_1 \frac{1}{d} \frac{v^2}{2g}$; гдѣ d = діаметру трубы.

3) Отъ переменны скоростей, всегда имѣющей мѣсто, если діаметръ трубы, или поперечное сѣченіе ларя измѣнены. Формулы, для измѣренія потери напора такіа:

$$h_2 = \left\{ \frac{v^2}{2g} - \left(\frac{F}{G} \right)^2 \right\} \frac{v^2}{2g} = \left\{ 1 - \left(\frac{F}{G} \right)^2 \right\} \frac{v^2}{2g}$$

4) Отъ переменны направленія струи, что встрѣчается всегда при боковыхъ трубахъ; это сопротивленіе измѣряется по формулѣ: $h_3 = \frac{v^2}{2g}$, гдѣ $v = \frac{Q}{F}$.

Во всѣхъ вышенприведенныхъ формулахъ сопротивленіе возрастаетъ прямо пропорціоально квадрату скорости. Для избѣжанія численныхъ вычисленій, я допущу, что отношеніе между размѣрами водопроводной трубы или ларя и потребнымъ расходомъ такое, что сопротивленіе истребляютъ 1 футъ высоты напора. Если уменьшить діаметръ предположенный водопроводной трубы въ два раза, то площадь поперечнаго сѣченія ея уменьшится въ $2^2 = 4$ раза; слѣдственно скорость, съ какою вода будетъ течь по трубѣ увеличится въ 4 раза. Сопротивленія же, возрастая пропорціоально квадрату скорости, возвысятся до $4^2 = 16$ разъ. И если потеря высоты въ первомъ случаѣ будетъ = 1 футу, то во второмъ случаѣ, когда труба будетъ въ 2 раза менѣе въ діаметръ, эта потеря выйдетъ = 16 футъ). Возьмемъ другой случай: водопроводная труба оставлена безъ

измѣненіи, какъ прежде; но расходъ воды, потребный на дѣйствіе, увеличенъ въ 2 раза. Тогда скорость воды увеличится также въ 2 раза, а сопротивленіе въ $2^2 = 4$ раза: слѣдственно потеря напора будетъ $= 4$ футамъ.

Въ случаѣ провода воды ларемъ, результаты оказываются выгоднѣе, чѣмъ трубой.

Этихъ примѣровъ достаточно, чтобы видѣть какъ быстро возрастаютъ сопротивленія при движеніи воды по трубамъ.

Далѣе: вода изъ главнаго водопровода идетъ по малымъ боковымъ ларямъ и собирается, въ такъ называемыхъ, колодцахъ, или толкунахъ. Изъ послѣднихъ она доставляется на колесо посредствомъ спусковъ. Горизонтъ воды, во время дѣйствія, въ колодцѣ стоитъ ниже чѣмъ въ прудѣ: разность покажетъ, поглощенную сопротивленіями, высоту.

Дѣйствующія колеса можно сказать все, безъ исключенія, сутройства, верхобойнаго; діаметръ ихъ рѣдко превышаетъ 12 футовъ. Столбъ воды сверху выпускнаго окна, во время полноводія, стоитъ до 10 и 12 футовъ; при убыли, во время мелководія, онъ упадетъ до 5, 4 и ниже футовъ. Слѣдственно горизонтъ выпускнаго окна дѣлится, скопленный плотиною, столбъ воды (водоскорь) на двѣ, почти равныя, части: верхняя часть передастъ свою живую силу посредствомъ удара, а нижняя посредствомъ тяжести или давленія. Возьмемъ столбъ воды, стоя-

щій надъ выпускнымъ окномъ, въ 10 футовъ. Этотъ случай встрѣчается чаще всего.

Устройство и расположеніе спуска, употребляемое на Уральскихъ заводахъ, подходитъ подъ случай цилиндрическихъ наставочныхъ трубокъ, конхъ данна въ 6 разъ болѣе ширины окна (отверстія).

Тутъ α (коэффициентъ сжатія) = 1,0; μ (коэффициентъ расхода) = φ (коэффициентъ скорости) = 0,815.

И работа, которую въ состояніи развернуть живая сила воды, будетъ измѣряться высотой:

$$h_1 = \left\{ \left(\frac{1}{0,815} \right)^2 - 1 \right\} \frac{v^2}{2g}; \quad h_1 = 0,505 \frac{v^2}{2g}; \quad h = \frac{v^2}{2g}$$

$$h_1 = 0,505 h; \quad h = 10 \text{ футама.}$$

$$h_1 = 0,505 \cdot 10 = 5,05 \text{ футама.}$$

Дѣйствуя посредствомъ удара, вода, въ самыхъ выгодныхъ условіяхъ, можетъ передать только $\frac{1}{2}$ запаса работы, то есть: $L = Q\pi \frac{1}{2} h_1 = Q\pi \frac{1}{2} 4,6$.
 $L = 2,3 Q\pi$. Здѣсь π — вѣсъ воды въ единицѣ объема.
 $L = \frac{Q\pi \frac{1}{2} h_1}{Q\pi h} = \frac{2,3 Q\pi}{10 Q\pi} = 0,23$ полного запаса, стоящаго надъ колесомъ непосредственно.

Достигнувъ колеса, вода начинаетъ дѣйствовать своею тяжестію на перья его. Устройство колесъ соображено такъ, что вода наливается въ ящики сполна; скорость его весьма значительная; только при воздуходушныхъ машинахъ водяныя колеса на Уралѣ дѣлаютъ отъ 9 до 12 оборотовъ въ минуту; при кричныхъ же молотахъ колеса обращаются отъ 18

до 20 разъ въ минуту; при прокатныхъ машинахъ также около 18 разъ. Полный наливъ ящика и быстрая скорость способствуютъ прежде-временному вытеканию воды изъ оныхъ. И если чрезъ h_2 назвать высоту колеса (она не равна диаметру его а нѣсколько меньше), то работа, развертываемая давлениемъ воды, будетъ:

$Q\pi h_2 n$; гдѣ n означать множитель, зависящій отъ степени наполненія ящиковъ, отъ кривизны пера и отъ скорости обращенія колеса.

Моренъ дѣлалъ опыты для опредѣленія этого множителя надъ верхнебойными колесами, коихъ диаметръ не превышалъ 2 метровъ а скорость $= 2\frac{1}{2}$ метрамъ. При наполненіи ящиковъ до $\frac{2}{3}$ полной вместимости, Моренъ нашелъ, что $n = 0,65$.

Надъ подобными колесами, какъ на Уральскихъ заводахъ, опытовъ сдѣлано не было, слѣдственно нельзя въ точности опредѣлить множитель n . Впрочемъ болѣе, чѣмъ 0,60 онъ никакъ не можетъ быть, ибо наши колеса обращаются скорѣе, и притомъ ящики наполняются совершенно. Если принять $n = 0,45$; то получимъ:

$$L_2 = Q\pi h_2 0,45; \text{ пусть } h_2 = 12; L_2 = Q\pi 12 \cdot 0,45$$

$$\begin{aligned} \text{Соединивъ обѣ работы въ одну сумму, получимъ:} \\ L = L_1 + L_2 = Q\pi hk + Q\pi nh_2; L = Q\pi(kh + nh_2) \\ = Q\pi(0,25 \cdot 10 + 0,45 \cdot 12); L = Q\pi(2,5 + 5,40) \\ = Q\pi \cdot 7,9 \text{ или (около)} = Q\pi \cdot 8. \end{aligned}$$

Полный, запасный столбъ воды принять былъ

$H = h + h_2 = 10 + 12 = 22$ футамъ; следовательно отношеніе развертываемой работы къ полному запасу будетъ:

$$\frac{H}{h} = \frac{22}{10} = 2,2.$$

Въ предыдущемъ вычисленіи я принимаю высоты h и h_2 за изменяемыя величины, для большей ясности. Опытные множители k и n имѣютъ вліяніе, сверхъ того, и на расходъ воды, изменяя его вытечь съ высотой.

Выведенный выше результатъ, конечно, не будетъ точный а приблизительный; ибо практическіе коэффициенты k и n не совсѣмъ подходятъ къ устройству и состоянію движенія Уральскихъ колесъ. Одно можно сказать съ достовѣрностію: что для нихъ коэффициентъ n не можетъ превышать числа 0,50. Что же касается до другаго коэффициента k , то онъ принятъ мной для случая цилиндрическихъ спусковъ, и при томъ, когда вода вытекаетъ полною струей изъ верхняго отверстія спуска (конца). Но большая часть спусковъ на Уральскихъ заводахъ имѣютъ форму прямоугольной пирамиды съ двухъ сторонъ къ концу расходящейся, а съ двухъ прочихъ сторонъ (верхней и нижней) сходящейся; и при томъ, какъ наблюденіе показываетъ, вода вытекаетъ изъ конца спуска не полною струей. Допустивъ послѣдній случай, слѣдуетъ принять, во первыхъ коэффициентъ сжатія $\alpha = 0,61$; а коэффициенты: $\varphi = 0,97$; $\mu = \alpha \cdot \varphi = 0,61 \cdot 0,97$; и присовокупить къ тому вредныя сопротивленія

отъ тренія воды при движеніи по спуску. Впрочемъ для большей вѣрности необходимо опредѣлить величину k непосредственно изъ опыта. За границею, надъ спусками, подобнымъ нашимъ Уральскимъ, опытовъ нѣсколько не сдѣлано.

Чтобы положительно рѣшить вопросъ, какое устройство водяныхъ колесъ наивыгоднѣйшее для нашихъ Уральскихъ заводовъ, должно въ подробности изслѣдовать состояніе пруда, при каждомъ заводѣ, отдѣльно, наблюдая измѣненія его водоскона въ теченіи цѣлаго года, и замѣчая сколько времени прудъ стоитъ на половодіи, и сколько времени на мелководіи. При этомъ необходимо, въ точности, обозначить расходъ воды, потребляемый дѣйствіемъ завода каждый день.

Не смотря на обширность нашихъ прудовъ и огромный запасъ работы въ оныхъ, если притокъ питающій ихъ водою, во время зимы совершенно прекратится, то запасенной воды въ прудѣ, допустивъ полное дѣйствіе завода, не достанетъ и на три недѣли. Я дѣлалъ нѣсколько численныхъ примѣровъ, въ которыхъ предполагалъ значительный скоръ воды въ прудѣ, и всегда оказывалось, что, въ случаѣ прекращенія притока, запасенной въ прудѣ воды достаетъ на 3 недѣли, не болѣе. Работа полнаго завода предположена была мною до 300 паровыхъ лошадей въ секунду.

Въ подобныхъ случаяхъ, то есть, когда притокъ

прекращается совершенно, кажется, лучше всего, соорудить весь заводскія машины, въ томъ предложеніи, чтобы производить дѣйствіе сколь возможно болѣе во время полнаго стоянія воды въ прудѣ. Разумѣется, для этого потребуется нѣкоторыя машины завести въ двойномъ числѣ, чтобы въ болѣе короткое время сдѣлать болѣе работы. Здѣсь, безъ сомнѣнія, вертикальныя верхобойныя колеса, можно примѣнить какъ самыя лучшія.

Но если притокъ не прекращается совершенно, но только время отъ времени уменьшается, понижая вмѣстѣ съ тѣмъ горизонтъ запасной воды, то въ этихъ случаяхъ лучше строить турбины.

На Уралѣ принято кажется за правило: строить исключительно верхобойныя колеса. Поводъ къ тому, безъ сомнѣнія, тотъ, что во время полной воды, полезный столбъ воды значителенъ, именно отъ 20 до 30 футовъ. При этомъ столбѣ вертикальныя верхобойныя колеса даютъ хорошій успѣхъ. Но не надобно упускать изъ виду того правила, чтобы сооружаемыя движущія колеса дѣйствовали экономически въ случаѣ малаго занаса работы.

5.

О ТЮРБИНАХЪ.

(Г. Каштана Рожкова).

Изобрѣтеніе Фурнероной тюрбины сдѣлало большой переворотъ въ области гидравлическихъ двигателей: оно доставило колесо, которое дѣйствуетъ одинаково хорошо при вѣсѣхъ столбахъ воды, начиная съ 7 и до 500 футовъ; которое можетъ дѣйствовать подѣ водою, неизмѣняя замѣтно развертываемой изъ полезной работы; слѣдственно подируда, бывающая во время полноводія, не производитъ на него вліянія; и наконецъ отношенія полезнаго дѣйствія къ полному запасу, какъ первоначальные опыты показали, новаго колеса простирается до 75%, то есть, столько, сколько можетъ развить самое лучшее вертикальное наливное колесо.

Изъ приведенныхъ свойствъ новаго горизонтальнаго колеса видно, что примѣненіе его на практикѣ можетъ устранить тѣ два неудобства вертикальныхъ колесъ, о которыхъ замѣчено было въ предыдущей статьѣ, при разборѣ ихъ; именно, что вертикальныя колеса могутъ быть съ пользою примѣнены только при скопленномъ столбѣ воды отъ 30 до 40 футовъ, при столбѣ въ 50 футовъ строить ихъ уже невыгодно; и второе, что въ случаѣ при-

нѣненія высоты водянаго столба, во время полноводія и мелководія, въ довольно значительныхъ предѣлахъ; установь вертикальнаго колеса сопряженъ съ большими затрудненіями.

Фурнеронова турбина подала поводъ къ открытію новыхъ турбинъ. Въ послѣдніе 10 лѣтъ ихъ явилось до 9. Большая часть изъ нихъ, по устройству своему, во многомъ разнятся отъ Фурнероновой, а по дѣйствию нѣкоторыя, изъ вновь предложенныхъ, даже превосходятъ оную. За исключеніемъ одной именно: предложенной Вейсбахомъ, всѣ онѣ были построены, нѣкоторыя даже во множествѣ, и надъ большею частию изъ нихъ сдѣланы были опыты.

Новыя турбины извѣстны подъ именемъ своихъ изобрѣтателей, именно:

- 1) Турбина Кадіата (Cadiat).
- 2) Вейтлава (Withelaw).
- 3) Фонтена (Fontaine-Baron).
- 4) Комба (Comba).
- 5) Жонваля (Jonval).
- 6) Шубингера турбина, извѣстная болѣе подъ именемъ тангенціональнаго колеса.
- 7) Буржуа (Bourgeois).
- 8) Швамкруга (Schwammkrug).
- 9) Вейсбаха.

Кадіатова турбина. Если въ Фурнероновой отнять вовсе кривые водопроводники (Leitschaufel), а ставень помѣститъ къ наружной окружности колеса

вмѣсто внутренней, какъ у Фурнерона, то выйдетъ Кадіатова турбина. На фигурѣ 28 (1) она представлена въ поперечномъ разрѣзѣ. Къ вертикальному валу А прикрѣплено неподвижно колесо В; къ нему придѣланы перья; въ верхнихъ краяхъ перья схвачены горизонтальнымъ кольцомъ С, коего ширина составляетъ разность между внутреннимъ и вѣшнимъ діаметрами; D—водопроводъ, на днѣ котораго сдѣлано отверстіе; въ отверстіи помѣщенъ чугунный цилиндръ E; края его вверху и внизу округлены, а нижніе, кромѣ того, доходятъ почти вплотъ до краевъ колеса; FF—цилиндрическій ставень, прилегающій ко вѣшной окружности его. Ставень можетъ подниматься и опускаться посредствомъ устройства, очень подобнаго тому, какой употребленъ при Фурнероновой турбинѣ, для той же цѣли. Вода изъ водопровода D идетъ внизъ чрезъ цилиндръ E, скользитъ по дну тарелки, входитъ въ самое колесо, и дѣйствуя на перья онаго посредствомъ реакціи, приводитъ въ движеніе.

Неудобство описаннаго устройства состоитъ въ томъ, что давленіе понаго столба воды на пяту вала неустранено, отъ чего потеря работы отъ тренія обнаруживается очень большая. Чтобы устранить этотъ вредъ, Кадіатъ предложилъ особенное устройство, посредствомъ котораго помянутый вредъ совершенно устраняется; но это устройство очень сложно, и въ практикѣ неудобно. Впрочемъ въ послѣднее вре-

мя при Кадіатовой тюрбинѣ стали употреблять тарелку, подобно, какъ при Фурнероновой, при которой давленіе водянаго столба на пяту вала уничтожается.

Кадіатова тюрбина построена въ Этлингенѣ, близъ Карлеруэ и другихъ мѣстахъ. Опыты показали, что полезное дѣйствіе ея простирается отъ 0,60 до 0,65.

Вейтлава тюрбина. Изобрѣтенное Сегнеромъ реактивное колесо, долгое время бывшее въ физическихъ кабинетахъ предметовъ опытовъ для любопытства, будучи измѣнено въ некоторыхъ частяхъ своихъ, послужило къ составленію устройства новой тюрбины. Она извѣстна болѣе подъ названіемъ Шотландской тюрбины. На фигурѣ 29 представленъ боковой видъ.

Надобно сказать, что подобныя тюрбины уже давно построены Манури д'Экто во Франціи. Вейтловъ измѣнилъ только устройство.

Шотландскія тюрбины построены довольно много въ Англии, Каринтіи, Вассеральфингенѣ, въ Мюльгаузенѣ, въ Тюрингіи и прочее. Полезное дѣйствіе ихъ простирается отъ 50 до 60%.

Тюрбина Колба. Она изображена на фигурѣ 30 въ поперечномъ разрѣзѣ и планѣ. АА кругъ, соединенный крѣпко съ вертикально-сѣдящимъ валомъ В; СС — перья, скрѣпленные между собою кругами АА и DD, составляющими вмѣстѣ съ ними, движу-

щее колесо. Снизу къ колесу подходит труба ЕЕ, которая и приводитъ воду для дѣйствія.

Самъ изобрѣтатель Комбъ сдѣлалъ опыты надъ двумя, построеными имъ, тюрбинами. Изъ этихъ опытовъ онъ нашелъ, что полезное дѣйствіе ихъ можно считать отъ 50 до 56%.

Тюрбина Фонтена. Она представляетъ новое, совершенно отличное отъ Фурнеровой, устройство. При этой послѣдней, кривые водопроводники, направляющіе воду, лежатъ не въ одной горизонтальной плоскости съ перьями колеса; въ Фонтеновой тюрбинѣ — кривые водопроводники установлены сверху перьевъ, и вода дѣйствуетъ сверху внизъ; слѣдственно какъ перья, такъ и водоспуски изогнуты въ плоскости вертикальной (фигура 31).

Первая тюрбина по системѣ Фонтена построена въ Буше, что въ Шартрѣ, на пороховомъ заведеніи. Моренъ сдѣлалъ подѣею опыты и опредѣлилъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія; онъ равенъ 0,70. Прежде Морена были сдѣланы опыты надъ новою тюрбиною, построенною въ Varenne, неподалеку отъ Шалона на Марнѣ. Изъ нихъ найдено полезное дѣйствіе равнымъ 0,60.

Жонваль тюрбина. Она принадлежитъ къ разряду предидущей Фонтеновой, отъ которой мало отличается, какъ можно видѣть изъ фигуры 32. Изобрѣтатель ея Жонваль построилъ первую тюрбину въ Мюльгаузенѣ, въ машинномъ заведеніи Г. Кех-

лина и получилъ патентъ на свое изобрѣтеніе. По смерти Жанвиля право патента перешло Кехлину. При тюрбинѣ Фурнерона движеніе колеса и развертываемая имъ работа не зависятъ отъ глубины, на которой тюрбина установлена въ водоотводномъ каналѣ. При тюрбинѣ Жанвиля есть сходство, въ этомъ отношеніи, съ предидущею; именно: работа, развиваемая тюрбиною, независитъ отъ высоты водянаго столба, стоящаго выше колеса. Слѣдственно, на какой бы высотѣ водянаго столба не укрѣпили колесо, работа его не измѣняется. Отъ Фонтеновой, новая тюрбина отличается способомъ управленія водою: въ первый, ставень установленъ непосредственно надъ аппаратомъ кривыхъ водоспусковъ, тогда какъ въ послѣдней, то есть Жанвилевой, расходъ воды управляется посредствомъ обыкновеннаго ставня, помѣщеннаго въ самомъ низу у водосточнаго канала.

Хотя послѣдняго устройства, тюрбины открыты недавно (въ 1841 году); но между тѣмъ ихъ построено и пущено въ дѣйствіе очень много. Постройкою ихъ занимаются, исключительно, въ Мюльгаузенѣ у Кехлина, и въ Цюрихѣ у Эшера. Изъ всѣхъ тюрбинъ, открытыхъ послѣ Фурнероновой, предложенная Жанвилемъ безспорно самая лучшая; устройство ея просто, а дѣйствіе также успѣшно, какъ лучшей по системѣ Фурнерона. Многія преимущества способствуютъ распространенію новой тюр-

бины. При возведеніи заводовъ и особенно фабричныхъ заведеній вновь, при выборѣ двигателя, турбины Жанвиля отдають первѣсь предъ всеми прочими, не исключая даже Фурнероной. Есть примѣры, что въ давно устроенныхъ заведеніяхъ, существующія Фурнероны турбины, уничтожаютъ и на мѣсто ихъ строятъ новыя, Жанвиля. Въ Аугсбургѣ давно построены были 4 турбины по системѣ Фурнерона; двѣ изъ нихъ въ концѣ 1845 года сломаны и на мѣсто ихъ установлены Жанвиля; двѣ другія, въ бытность мою въ этомъ городѣ, снимали съ мѣста, а Жанвилевы были уже привезены изъ Мюльгаузена для установка на мѣсто сломанныхъ. По отзыву управляющаго заведеніемъ новыя турбины потребляютъ ровно $\frac{1}{4}$ менѣ расхода, чѣмъ прежнія, Фурнероны.

Теорію турбины Жанвиля составилъ Профессоръ Вейсбахъ. По величайшему сходству теоретическихъ выводовъ съ опытными результатами, она всеми принята за вѣрную. Въ ней разсматриваются новыя колеса, какъ реактивныя. Моренъ нашелъ, изъ своихъ опытовъ, отношеніе полезнаго дѣйствія къ полному запасу равнымъ 0,72. По опытамъ Кехлина, нынѣшняго владѣльца патента, это отношеніе простирается до 0,90; но при опытахъ своихъ, какъ кажется, Кехлинъ бралъ слишкомъ малый расходъ воды.

Тангенціональная турбина. Въ 1826 году, ровно

за годъ до построенія первой Фурниероной турбины, Понселе предложилъ Парижской Академіи наукъ чертежъ новой турбины. Особенность ея заключается въ томъ, что вода дѣйствуетъ въ ней извнѣ во внутрь, и при томъ проведена не по всей окружности колеса, а только къ части оной. По способу дѣйствія воды и устройству, можно сравнить новую турбину съ вертикальнымъ, Понселе же предложеннымъ, колесомъ. Если это, съ горизонтальнымъ валомъ, колесо опрокинуть и поставить валъ вертикально, то выйдетъ новая турбина. Въ обѣихъ колесахъ вода входитъ безъ удара и передаетъ дѣйствіе посредствомъ живыхъ силъ. Въ обѣихъ колесахъ центробѣжная сила принимаетъ участіе при дѣйствіи воды. Турбины Понселе построены въ Тулузѣ. Изобрѣтатель самъ производилъ опыты, по которымъ полезное дѣйствіе найдено отъ 65 до 75%.

Въ началѣ 1846 года, находящійся въ машинномъ заведеніи въ Цюрихѣ, механикъ Цубингеръ измѣнилъ расположеніе перьевъ въ турбинѣ Понселе, такъ, что дѣйствіе воды изъ давленія перешло въ реакцію, составилъ планъ новой турбины и назвалъ ее тангенціальнымъ колесомъ (*tangentialsrad*). Въ сущности оно очень мало измѣняется отъ турбины Понселе (фигура 35). О полезномъ дѣйствіи ничего нельзя положительнаго сказать, ибо опытовъ, надъ новымъ колесомъ, сдѣлано не было. Изъ построенныхъ турбинъ не все удавались. Лучшая по

мѣнѣю Г. Цубингера, тангенціальная турбина построена на фабричномъ заведеніи, лежащемъ на берегу Цюрихскаго озера. Она дѣйствуетъ при водяномъ столбѣ въ 150 футовъ. Одно можно сказать въ пользу новой турбины: при большихъ столбахъ воды, напримѣръ отъ 100 до 300 и болѣе футовъ, Фурпероновы турбины неудобны въ томъ отношеніи, что при такихъ большихъ водоспорахъ необходимо бываетъ колесу придавать весьма малый діаметръ; отъ чего оно вращается чрезвычайно скоро. Тангенціальная же турбина даетъ возможность давать болѣе діаметръ, слѣдственно позволяетъ уменьшать скорость вращенія колеса, а вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшаетъ и бесполезныя потери, возрастающія пропорціоноально квадрату скорости.

Турбина Буржуа. 10 лѣтъ тому назадъ Инженеръ Буржуа придумалъ новую турбину и усовершенствованіемъ ея устройства занимался до 1847 года. Въ этомъ году Буржуа построилъ первую турбину въ Plantaret, во Франціи, въ 30 паровыхъ лошадей. Изобрѣтатель назвалъ ее винтовымъ колесомъ (Schraubengrad, turbine-helice) или гелизюдальнымъ. Оно состоитъ, собственно, изъ винта съ довольно широкими обводами, и цилиндра, полагающаго съ обѣихъ сторонъ. Въ верхній конецъ входитъ вода, давитъ на обводы и приводитъ въ движеніе машину. По опытамъ Г. Буржуа нашелъ отношеніе полезной работы къ полному запасу равнымъ 0,76. Хотя

этотъ выводъ и очень удовлетворителенъ, ибо новую турбину, по дѣйствию ея, ставить на ряду съ самыми лучшими реактивными колесами; но изобрѣтатель этимъ не довольствуется, и при постройкѣ вновь своихъ турбинъ хотѣлъ еще болѣе усовершенствовать ихъ.

Турбина Швалкруса. Въ началѣ прошедшаго 1847 года во Фрейбергскомъ округѣ, въ Саксоніи, построено новое колесо, котораго какъ расположеніе, такъ и дѣйствіе воды основано на началахъ турбинъ. Новое колесо установлено при проводѣ интольны, въ одномъ изъ лихтлоховъ, для выкачиванія воды изъ забоевъ, фигура 54. Столбъ воды = 30 футамъ. До сихъ поръ опытовъ надъ турбиною не было сдѣлано. Я былъ при пускѣ машины въ ходъ. Вода дѣйствуетъ въ ней, единственно, давленіемъ. При дѣйствіи колеса слышенъ постоянный шумъ, подобный тому, который всегда сопровождаетъ движеніе вентилятора.

Установъ турбины на горизонтальномъ валу въ первый разъ употребленъ въ Шотландіи. Тамъ были построены турбины Вейтлава. Также въ Мюльгаузенѣ и Тюрингіи было употреблено устройство Шотландскихъ турбинъ на горизонтальномъ валу; причемъ турбины расположены по двѣ вмѣстѣ.

Наконецъ въ послѣднее время Профессоръ Вейсбахъ предложилъ новую систему турбинъ на гори-

зонтальному валу фигура 35, она существует только въ практикѣ.

Изъ вышеописанныхъ турбинъ двѣ послѣднія, то есть Вейсбаха и Шваммеруга, принадлежатъ къ разряду тѣхъ, въ коихъ вода дѣйствуетъ единственно давленіемъ. Въ тангенціоальномъ колесѣ принимаетъ участіе давленіе и реакція вмѣстѣ. Всѣ же прочія относятся къ разряду реактивныхъ турбинъ.

Теоретическими изслѣдованіями о турбинахъ занимались: Фуриеронъ, Вейсбахъ, Понселе и Редтенбахеръ (Профессоръ въ политехнической школѣ въ Карлсруэ). До изобрѣтенія Фуриероновой турбины, ихъ строили какъ колеса, дѣйствующія давленіемъ, но преимущественно ударомъ. Навье, объясняя теорію горизонтальныхъ колесъ съ кривыми перьями, дѣйствующихъ давленіемъ, въ числѣ главныхъ условій наивыгоднѣйшаго дѣйствія упомянулъ: чтобы работа, развертываемая колесомъ была наибольшая, надобно части турбины расположить такъ, чтобы 1), вода втекала на колесо безъ удара, 2) входила во все каналы (перья) вдругъ, и на конецъ 3) оставляла колесо безъ всякой скорости.

Эти условія, опредѣлительно выраженные, послужили кажется, поводомъ къ изобрѣтенію Фуриероновой турбины.

Первая изъ нихъ построена въ 1827 году въ Pont-sur - l'Oignon. Изобрѣтатель приложилъ теорію Навье къ своему колесу, и составилъ такимъ обра-
Горн. Журн. Кн. VIII. 1848. 5

зомъ, первую теорію новой турбины. Она напечатана въ Bulletin de la Société d'encouragement за 1834 годъ. Фурнеронъ вывелъ изъ своей теоріи правила для опредѣленія существенныхъ частей колеса. Но эти правила были ошибочны и, при назначеніи размѣровъ и расположенія частей, вели къ самымъ ложнымъ заключеніямъ. Слѣдственно теорія Фурнерона не могли служить: ни къ точному опредѣленію производимой работы, построеннаго и дѣйствующаго колеса, ни къ вѣрному выводу размѣровъ предполагаемаго къ постройкѣ.

Это обстоятельство составляло одну изъ главныхъ причинъ, почему большая часть изъ построенныхъ до 1840 года турбинъ, далеко не давали того выгоднаго результата, какой полученъ изъ опыта надъ первою. Владѣльцы машинныхъ заведеній, купивъ патентъ у изобрѣтателя, строили новыя колеса, опредѣляя размѣры всехъ частей на основаніи ложной теоріи, и постройки ихъ удавались рѣдко. Случалось, что самимъ Фурнерономъ построенныя турбины имѣли слабый успѣхъ. Но между тѣмъ владѣльцы механическихъ фабрикъ отзывались о новомъ колесѣ постоянно съ большою похвалою, имѣя въ виду увеличивать заказъ, а слѣдственно и збыть своего произведенія.

Кромѣ Фурнерона многіе механики въ Германіи занимались составленіемъ теоріи новой турбины. Но всѣ онѣ были составлены въ предположеніи, что во-

да втекаетъ на колесо со скоростью, зависящею единственно отъ высоты водянаго столба, и что расположеніе частей колеса и состояніе его движенія, не имѣетъ вліянія на скорость втекающаго воды.

Понселе первый доказалъ ошибочность этого предположенія и составилъ свою теорію, въ которой новыя турбины разсматриваются, какъ колеса, дѣйствующія посредствомъ реакціи воды. Теорія Понселе напечатана въ первый разъ въ *Compte rendu à l'Académie, à Paris* за 1838 годъ. Начала, на которыхъ она основана, всеми признаны вѣрными. Изъ другихъ авторовъ, занимавшихся теоретическими изслѣдованіями о турбинахъ, должно упомянуть Комба, Вейсбаха и Редтенбахера. Теоріи ихъ развиты на законахъ Понселе. Понселе и Редтенбахеръ, въ своихъ изслѣдованіяхъ, не принимали въ соображеніе вредныхъ сопротивленій, встрѣчаемыхъ водою, во первыхъ, при переходѣ изъ кривыхъ водоспусковъ на колесо, во вторыхъ, заключающихся въ треніи и въ сопротивленіи отъ кривизны каналовъ. Редтенбахера теорія, кромѣ того, очень сложна, и въ практикѣ неудобно примѣнима по своимъ длиннымъ вычисленіямъ. Теорія Профессора Вейсбаха имѣетъ преимущество, въ этомъ отношеніи, въ сравненіи съ предидущею: кромѣ простоты и ясности вычисленій, въ ней приняты въ расчетъ, вредныя гидравлическія сопротивленія.

На Русскомъ языкѣ напечатанъ, въ Горномъ Жур-

нагъ за 1859 годъ, переводъ Вейсбаховой теоріи. Но надобно сказать, что она написана Вейсбахомъ въ 1856 году и содержитъ въ себѣ всѣ тѣ ошибки, какія замѣчены при Фурнероной теоріи, и въ настоящее время Профессоръ Вейсбахъ отъ нея отказался. Та, о которой выше упомянуто, составлена имъ два года тому назадъ.

Въ отчетъ было бы не умѣста входить въ подробное изложеніе новѣйшей теоріи реактивныхъ колесъ; но желая представить читателямъ науку о турбинахъ въ томъ состояніи, до котораго она доведена въ последнее время, какъ теоретическими изслѣдованіями такъ и опытыми наблюденіями, я считаю не лишнимъ выставить здѣсь тѣ предположенія, на основаніи которыхъ развита новая теорія, равно какъ и механическія начала, проявляющіяся при дѣйствіи воды на колеса.

I. Скорость воды при вытеканіи изъ кривыхъ водоспусковъ зависитъ не только отъ высоты водянаго столба, но также и отъ устройства колеса и скорости его вращенія.

Чтобы лучше объяснить эту зависимость, представимъ себѣ турбину, пущенную въ ходъ. Если колесо устранить отъ кожуха и открыть ставень, то вода будетъ вытекать изъ кривыхъ водоспусковъ со скоростью, соотвѣтствующею, единственно, высотѣ водянаго столба. Но явленія совершенно измѣняются, если приставить колесо къ кривымъ водопроводни-

камь: тогда вода будетъ вытекать со скоростію или большею, или меньшею, или наконецъ равною первой, смотря по расположенію перьевъ и скорости вращенія колеса. Если отверстія, на вѣншией окружности его, весьма малы въ сравненіи съ отверстіями на внутренней, и если колесо движется довольно медленно, то вода вытекаетъ изъ кривыхъ водоспусковъ со скоростію, меньше той, какая соответствуетъ водяному столбу. Положимъ, на примѣръ, что площадь вѣншиихъ отверстій въ 5 разъ меньше площади внутреннихъ; какъ колесо, по предположенію движется медленно, то вода будетъ оставлять оное, вытекая изъ вѣншиихъ отверстій, со скоростію, зависящею отъ водянаго столба; слѣдственно скорость ея, во внутреннихъ отверстіяхъ, будетъ около 5 разъ меньше первой.

Возьмемъ обратный случай: пусть вѣншія отверстія будутъ болѣе внутреннихъ и колесо движется очень быстро. Въ этомъ примѣръ скорое вращеніе, влѣдствіи центробѣжной силы, будетъ способствовать вытеканію воды; а какъ вѣншія отверстія очень велики въ сравненіи съ внутренними, то скорость воды, въ послѣднихъ отверстіяхъ, будетъ весьма значительная, и при извѣстной скорости колеса, можетъ, даже превзойти ту, которая соответствуетъ высотѣ водянаго столба.

Изъ этихъ соображеній видно, что скорость вытеканія воды на колесо изъ кривыхъ водоспусковъ,

зависитъ, не только отъ высоты водянаго столба, но также и отъ расположенія внутреннихъ частей и состоянія движенія колеса. Въ этомъ состоитъ первое предположеніе, сдѣланное Понселе, при развитіи своей теоріи.

Прежде полагали, что эту дѣйствительную скорость вытеканія воды, можно опредѣлить, умножая выраженіе $\sqrt{2gH}$ на постоянный коэффициентъ, выведенный изъ опыта.

Въ турбинахъ Фурнерона этотъ коэффициентъ для извѣстнаго устройства, то есть, расположенія частей и состоянія движенія колеса, есть одинъ, опредѣленный; но если устройство турбины другое, отличное отъ предыдущей, то коэффициентъ будетъ уже со вѣсьмъ другой. Для турбинъ Фурнерона онъ измѣняется въ предѣлахъ отъ 0,6 до 1,2.

2. Другое предположеніе, сдѣланное Понселе, касается до измѣненія скоростей воды при входѣ на колесо, и дѣйствія ея во время движенія по каналамъ (нерьямъ) его. Если вода вошла изъ кривыхъ водоспусковъ на колесо, то скорость немедленно измѣняется, разлагаясь на двѣ составляющія по направленіямъ возможнаго движенія, одна, по касательной къ крайнему элементу пера, — назовемъ ее t ; другая, по нормальной, назовемъ ее n . Последняя скорость n можетъ быть: или равна скорости перваго элемента пера, или можетъ быть болѣе, или менѣе его. Въ первомъ случаѣ, вода недѣла-

еть удара о перо; во второмъ когда $v >$ скорости колеса, вода ударяетъ о перо; а въ третьемъ, когда $v <$ скорости колеса, непосредственно слѣдующее перо, ударяетъ по водѣ. Скорость t также будетъ оказывать ударъ въ двухъ случаяхъ: во первыхъ, когда площадь вѣшнихъ отверстій гораздо болѣе площади внутреннихъ, и во вторыхъ, когда вода не наполняетъ совершенно канала между двумя смѣжно лежащими перьями (что всегда случается, если ставень поднять не на всю высоту окна). Само собой разумѣется, что отъ ударовъ воды происходитъ неминуемая потеря живыхъ силъ, а съдѣственно и уменьшеніе полезнаго дѣйствія. Въ теоріи Понселе предположено, что движеніе воды по каналамъ кривыхъ водоспусковъ и перьевъ, и дѣйствіе оной на послѣднія, не подвержена никакимъ мгновеннымъ измѣненіямъ въ скоростяхъ.

5. Третье и послѣднее предположеніе состоитъ въ томъ, чтобы вода на всемъ пути своемъ, при дѣйствіи на колесъ, составляла связную, не прерывную струю.

Если турбина дѣйствуетъ подъ водою, то это условіе всегда выполнено, и турбины всегда реактивныя. Но если турбина установлена выше горизонта воды въ водоотводномъ каналѣ, то легко можетъ обнаружиться случай, когда непрерывность струи нарушается, и колесо изъ реактивнаго переходитъ въ дѣйствующее давленіемъ воды, или даже ударомъ.

Попселе первый обратилъ вниманіе на давленіе обнаруживающееся въ кругообразномъ отверстіи, въ мѣстѣ прикосновенія колеса съ кожухомъ. Какъ бы плотно не было приставлено колесо къ аппарату кривыхъ водоспусковъ, всегда остается небольшой зазоръ, дающій возможность въ высшему атмосферному давленію имѣть вліяніе на движеніе воды въ этомъ кругообразномъ поясь. При начертаніи новой турбины всегда должно стараться боковое давленіе (между колесомъ и кожухомъ) дѣлать равнымъ, или 0, или давленію атмосферы. Въ противномъ случаѣ вода будетъ напращено вытекать чрезъ отверстіе, или въ высній атмосферный воздухъ, побуждаемый разностию давленій, входитъ въ каналы колеса, и расширять движеніе воды. Въ обоихъ случаяхъ непрерывность струи нарушится.

Остается показать: въ слѣдствіи какихъ механическихъ законовъ масса воды, при движеніи по колесу, передастъ свою живую силу. Съ одной стороны, колесо подвержено давленію атмосферы, и столба воды, имѣющагося въ запасѣ; а съ другой, у высняго отверстія, давленію одной атмосферы. На внутренней окружности колеса, въ кругообразномъ зазорѣ, имѣетъ мѣсто особенное давленіе, непостоянное, измѣняющееся съ устройствомъ турбины. Оно можетъ быть или $=$ атмосферѣ, или болѣе, или менѣе. Назовемъ это давленіе чрезъ D . Взявъ сумму давленій, дѣйствующихъ на колесо съ обѣихъ сторонъ, мы при-

демъ къ слѣдующимъ тремъ заключеніямъ: 1) вода дѣйствуетъ при входѣ своемъ на колесо посредствомъ живыхъ силъ, имѣющихся въ запасѣ; 2) посредствомъ разности давленій D и A (атмосферы); 3) посредствомъ центробѣжной силы.

Въ томъ случаѣ, когда $D > A$, движеніе воды по каналамъ колеса будутъ ускоряться въ слѣдствіи центробѣжной силы и разности давленій ($D - A$). Если $D < A$, то центробѣжная сила ускоряетъ движеніе воды, а разность давленій D и A замедляетъ оное. Въ случаѣ же $D = A$, движеніе воды по каналамъ не ускоряется, и не замѣдляется, и вода давитъ одинаково на обѣ стороны каналовъ (перьевъ), какъ выпуклую такъ и вогнутую. Но какъ площадь вогнутой поверхности болѣе площади выпуклой, то само собой разумѣется, что сумма давленій на первую будетъ болѣе, чѣмъ на послѣднюю, и колесо будетъ двигаться, въ слѣдствіи реакціи воды, въ сторону противную ея вытеканію изъ колеса. Слѣдственно вода, при дѣйствіи турбинъ, передаетъ свою живую силу посредствомъ реакціи.

Если сравнить работу, которую можетъ развить вода, дѣйствуя посредствомъ реакціи, съ той, какую она можетъ произвести дѣйствуя ударомъ, или давленіемъ, то можно видѣть, что выгода остается на сторонѣ перваго рода дѣйствія. Ударомъ, вода можетъ развить только $\frac{1}{2}$ полного запаса работы, неболѣе; давленіемъ же, или тягестію, она можетъ развернуть, въ поль-

зу, весь запасъ работы; но это возможно только теоретически; на практикѣ не всѣ условія наивыгоднѣйшаго дѣйствія могутъ быть выполнены, и всегда полагается успѣхъ наилучшимъ, если вода, въ слѣдствіи давленія, передаетъ $\frac{3}{4}$ запаса работы. Реакція можетъ развить, въ пользу, по крайней мѣрѣ 80% запаса (*).

Чтобъ судить о полезной работѣ какого либо гидравлическаго колеса недостаточно однѣхъ теоретическихъ изслѣдованій: безъ опыта и практическихъ наблюденій нельзя сдѣлать положительнаго приговора о полезномъ дѣйствіи. Если теорія, объясняя способъ дѣйствія воды на колесѣ, и представляя наивыгоднѣйшія отношенія между размѣрами различныхъ частей машины, приводитъ къ условіямъ наилучшаго дѣйствія, то по большей части, можно сказать всегда, при всѣхъ гидравлическихъ колесахъ, эти условія на практикѣ не могутъ быть совершенно выполнены. Въ послѣднее время стали придавать особенную важность опытнымъ наблюденіямъ; и всегда не иначе дѣють приговоръ объ успѣхѣ колеса, какъ послѣ множества тщательныхъ и точныхъ опытовъ.

Опытныхъ наблюденій, сдѣланныхъ надъ турбинами, много. Изъ нихъ наиболѣе заслуживаютъ довѣрія тѣ, которые сдѣланы Мореномъ, во Франціи, и Морисомъ, въ Англіи. Первый изъ нихъ испыты-

(*) Механика Вейсбаха.

валъ тюрбины Фурнероной системы, установленныя въ Мюссѣ и въ Mühlbach. Мюльбахская тюрбина имѣла слѣдующіе размѣры: діаметръ (внѣшній) равенъ 2 метрамъ, высота $= \frac{1}{2}$ метра; столбъ воды измѣнялся въ предѣлахъ отъ $3\frac{1}{2}$ до $3\frac{3}{4}$ метровъ; расходъ воды равенъ $2\frac{1}{2}$ кубическимъ метрамъ въ 1". Когда ставень былъ поднять на всю высоту окна, и колесо дѣлало отъ 50 до 60 оборотовъ въ минуту, результатъ оказался наибольшій: полезное дѣйствіе, при этихъ данныхъ, получено 0,78. Когда тюрбина обращалась 80 \div 90 разъ въ минуту, коэффициентъ дѣйствія ея унадалъ до 0,74; тотъ же самый результатъ оказался при 50 оборотахъ тюрбины. Когда колесо было погружено на 1 метръ глубины въ водосточномъ каналѣ, полезное дѣйствіе его измѣнялось весьма мало. Когда расходъ воды былъ уменьшенъ сообразно съ отношеніемъ 3 къ 5 — успѣхъ оказался тотъ же самый; но когда щитъ былъ поднять только на половину высоты окна, то коэффициентъ полезнаго дѣйствія вдругъ унадалъ до 0,373. Муссейская тюрбина дала результатъ: 0,69.

Морисъ дѣлалъ опыты также надъ двумя Фурнероными тюрбинами. Размѣры одной были такіе: внѣшній діаметръ $= 4\frac{2}{3}$ футовъ (Англійскихъ или Русскихъ); высота окна $= 8$ дюймамъ, столбъ воды $= 6$ футамъ; расходъ воды простирался до 1700 кубическихъ футовъ въ минуту. Наибольшая полезная работа обнаружилась при слѣдующихъ данныхъ:

щитъ былъ поднять на высоту 6 дюймовъ; колесо дѣлало 52 оборота; скорость на внутренней окружности колеса была $= 0,46 \sqrt{2gh}$, коэффициентъ дѣйствія былъ равенъ 0,70. Когда скорость v измѣнялась въ предѣлахъ отъ $0,5 \sqrt{2gh}$ до $0,9 \sqrt{2gh}$, то коэффициентъ понижался до 0,64.

Другая турбина имѣла размѣры: внѣшній діаметръ $= 4$ футамъ и 5 дюймамъ; высота $= 6$ дюймамъ; водяной столбъ около $4\frac{1}{2}$ футовъ, расходъ воды былъ $= 14$ кубическимъ футамъ въ 1'', колесо ходило подъ водою. При высотѣ окна въ $4\frac{1}{2}$ дюйма и при скорости v , равной отъ $0,25 \sqrt{2gh}$ до $1,0 \sqrt{2gh}$, коэффициентъ полезной работы $k = 0,65$; при v , равной отъ 40 до $50\frac{1}{2}$ скорости $\sqrt{2gh}$, величина $k = 0,71$; при $v = 0,45 \sqrt{2gh}$, k оказался $= 0,75$ (наибольшій). при $\frac{v}{\sqrt{2hg}} = 0,5 \div 0,7$, k упалъ до 0,60.

Изъ новыхъ турбинъ Моренъ дѣлалъ опыты надъ Фонтеновой и Жонвалевою.

Для первой $k = 0,69 \div 0,70$ въ случаѣ, когда ставень поднятъ на всю высоту окна; если ставень понижали до того, что расходъ воды уменьшался на $\frac{1}{4}$ первой величины, то k выходилъ равнымъ только 0,57. Прежде Морена, Альканъ и Грувель дѣлали опыты надъ Фонтеновою турбиной, построенной въ Vadeneu, не далеко отъ Шалопа на Марнѣ. Изъ этихъ опытовъ найдено: $k = 0,67$. Альканъ и

Грувель, для сравненія, дѣлали опыты надъ турбиною Фурнерона, которая была почти одинаковыхъ размѣровъ съ первою, то есть Фонтеновой, и дѣйствовала при тѣхъ же самыхъ данныхъ; для ней k оказалось $= 0,60$.

Опыты надъ турбиною Жанвала помѣщены въ описаніи этой турбины.

Опыты надъ турбинами Кадіатовой и Шотландской, по мнѣнію Профессора Вейсбаха, не заслуживаютъ большой довѣренности.

Здѣсь кетати сказать о неумѣренномъ стремленіи нѣкоторыхъ строителей возвысить полезное дѣйствіе, развертываемое турбинами, до невѣроятности. Въ нѣкоторыхъ періодическихъ изданіяхъ часто встрѣчается описаніе вновь построенныхъ турбинъ, которыхъ полезное дѣйствіе выставлено $85\frac{1}{2}\%$, даже 90% . Такова результата турбина, положительно можно сказать, дать не въ состояніи. Если вычислить все необходимыя потери, встречаемыя водою при движеніи и дѣйствіи ея на колесѣ, въ предположеніи самыхъ выгоднѣйшихъ условій, то выйдетъ, что сумма ихъ простирается до 24% . Именно: при вытеканіи воды изъ кривыхъ водоспусковъ, наименьшій коэффициентъ скорости $\varphi = 0,97$; почему при самомъ входѣ на колесо уже обнаруживается потеря работы; она составитъ: $\left(\frac{1}{\varphi^2} - 1\right) \frac{c^2}{2g} = 0,06 \frac{c^2}{2g}$, то есть $6\frac{1}{3}\%$. Далѣе, треніе воды при движеніи по трубамъ (кана-

ламъ колеса), которыхъ длина въ 6 разъ больше діаметра (ширины), истребитъ: $0,019 \cdot 6 \frac{v^2}{2g} Q\gamma = 0,114 \frac{v^2}{2g}$, то есть, $11,4\%$; положимъ 2% для сопротивленія отъ кривизны каналовъ; 2% теряемыхъ отъ удара воды о внутренніе края перьевъ, и по крайній мѣрѣ 3% , уносимые живою силою воды при вытеканіи чрезъ внѣшнія отверстія. За исключеніемъ этихъ потерь остается 76% запаса работы, и если турбина развиваетъ въ пользу это количество, то безспорно ее можно назвать наилучшею.

Сравненіе турбинъ между собою. Если сравнить между собою двѣ различныя системы турбинъ, напримеръ, Фурнерову съ Фонтеновой (или съ Жанвалевой), то можно видѣть, что въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ, первая система имѣетъ перевѣсъ предъ послѣдней; въ другихъ, напротивъ, первая уступаетъ послѣдней.

Преимущество турбинъ Фонтень-Жанвиля:

1) Въ Фурнеровой турбинѣ вода еще до входа своего на колесо, измѣняетъ три раза свое направленіе и всякій разъ подъ угломъ 90° . Разумѣется, что при всякомъ поворотѣ струя испытываетъ сопротивленіе и теряетъ часть живыхъ силъ. Потерю сего рода можно уменьшить, умѣривъ скорость теченія воды по приводному каналу и по кожуху, но уничтожить во все нельзя. Въ турбинахъ Жанвиля, гдѣ два колеса лежатъ одинъ надъ другимъ, вода измѣняетъ свое направленіе только одинъ разъ, подъ угломъ около 60° .

2) Въ Фурнєроновомъ устройствѣ кривые водо-проводники (leitschaufel), изгибааясь значительно, и встрѣчая внутреннюю окружность подъ угломъ отъ 25° до 30° , образуютъ такъ называемыя вредныя пространства. Они особенно замѣтны при малыхъ діаметрахъ колеса. Въ Жанвильевыхъ тюрбинахъ этотъ недостатокъ устраненъ совершенно незначительною кривизною кривыхъ водоспусковъ.

3) При опредѣленіи діаметра, въ первомъ устройствѣ, должно строго держаться той величины, которую даетъ формула. Но иногда необходимость заставляетъ діаметръ дѣлать болѣе или менѣе. Если уменьшить діаметръ, то скорость воды въ кожухѣ увеличится, въ слѣдствіи чего произойдетъ ударъ воды о дно (тарелку). Если взять діаметръ болѣе опредѣленнаго формулою, тогда потребуется уменьшить высоту колеса, что влечетъ за собой большее число кривыхъ водоспусковъ и перьевъ. Въ тюрбинѣ Жанваля діаметръ можно измѣнить въ довольно большихъ предѣлахъ, не навлекая вреда. Возможность измѣнить діаметръ ведетъ къ тому, что иногда не бываетъ надобности прибѣгать къ сложнымъ приборамъ.

Преимущество Фурнєронова устройства въ сравненіи съ Фонтенъ-Жанвильевымъ.

1) Скорость, съ какою вода встрѣчаетъ перья, у Фурнєрона, во всѣхъ точкахъ внутренней окружности, одинакова; у Жанваля же напротивъ, части

перьевъ, лежація далѣе отъ оси, имѣютъ большую скорость чѣмъ внутреннія, лежація ближе къ центру, или оси. Отъ разности скоростей вода можетъ входить на колесо, не производя удара, только на нѣкоторую часть пера, а не на всю его ширину. Впрочемъ уменьшая ширину колеса (разность между внутреннимъ и внешнимъ діаметрами), вліяніе удара можно сдѣлать незамѣтнымъ, почти ничтожнымъ.

2) У Фурнерона, центробѣжная сила воды не разстраиваетъ хода, или движенія ея; у Жанваля центробѣжная сила, увлекающая элементы воды въ сторону, причиняетъ разстройство въ правильности пути воды.

3) Ось у турбинъ Жанваля обременена тяжестью колеса и полного столба воды; у Фурнерона, валъ поддерживаетъ только тяжесть колеса.

4) Наконецъ кривые водоспуски и перья, у Фурнерона, гораздо легче укрѣпить, чѣмъ у Жанваля.

Примѣчаніе: На дняхъ я получилъ извѣстіе, что опыты надъ турбиною Шваммкруга, для опредѣленія полезнаго дѣйствія, были сдѣланы, и по онымъ найдено, что коэффициентъ $k = 0,60$.

6.

Теорія и устройство тюрбины Жонвалля.

(Г. Капитана Рожкова).

Тюрбина, придуманная Жонвалемъ, подъ именемъ котораго она теперь извѣстна, построена въ первый разъ въ Мюльгаузенѣ, въ машинномъ и фабричномъ заведеніи Кехлина. Жонваль, убѣдившись на опытѣ въ хорошемъ дѣйствии новой тюрбины, взялъ привилегію на свое изобрѣтеніе, и при смерти своей передалъ право на владѣніе патента Кехлину; по этому иногда называютъ ее тюрбиною Кехлина. Новый владѣтель патента сломалъ устройство Жонвала и построилъ вновь, но съ нѣкоторыми измѣненіями. Онъ дѣлалъ опыты для опредѣленія полезнаго дѣйствія вновь построеннаго колеса и нашелъ, что коэффициентъ, производимой имъ работы, равенъ 0,89. Столь огромный успѣхъ, поставляющій новое изобрѣтеніе выше всѣхъ до селѣ извѣстныхъ тюрбинъ, не исключая и Фурнероной, признанной теоретически за совершеннѣйшую, безъ сомнѣнія, удивилъ строителя, и вмѣстѣ съ тѣмъ понудилъ его представить какъ чертежи тюрбины, такъ и результаты опытовъ надъ нею, Парижской Академіи Наукъ. Г. Кехлинъ имѣлъ въ виду положительно узнать: въ какой степени, произведенные имъ, опыты заслужива-

ють вѣроятія. Немедленно составлена была коммисія изъ Морена, Понселе и Пюбера для изльдованія дѣйствія новаго колеса. Моренъ повторилъ опытъ надъ тою же турбиною, и нашелъ, что коэффициентъ дѣйствія его $= 0,72$. Ошибка первыхъ опытовъ, сдѣланныхъ владѣльцомъ патента, состояла въ ошибочномъ опредѣленіи расхода воды. По найденный Мореномъ результатъ при всемъ томъ доказываетъ, что новая турбина въ разрядѣ гидравлическихъ двигателей должна занять одно изъ лучшихъ мѣстъ.

Въ этой статьѣ будетъ изложена теорія а также и построеніе ея.

Фигура 36 представляетъ турбину въ вертикальномъ разрѣзѣ. Къ горизонтальному водопроводу X, прикрѣпана цилиндрическая труба Z, идущая отвѣсно; нижній конецъ ея назначенъ стоять въ водѣ; съ боку къ концу придѣланъ горизонтальный каналъ, снабженный ставнемъ S; этотъ послѣдній назначенъ, какъ и у всѣхъ турбинъ, для управленія водою. Около середины вертикальной трубы Z, установлено колесо R на вертикальномъ валу T; пятою своей валъ упирается въ коробку Y, которая имѣетъ видъ треножника; коробка укрѣплена въ стѣнахъ трубы Z; надъ самымъ колесомъ, сверху, помѣщенъ приборъ кривыхъ водопусковъ L (Leitschaufel-Apparat); направляющихъ воду на перья колеса; тяжесть прибора, не должна покоиться на колесѣ, а поддерживается

цѣпами, или желѣзными колесами, укрѣпленными въ горизонтально лежащему брусу, сверху устройства. Дѣйствіе воды на колесо теперь понятно: изъ водопровода X она идетъ въ трубу Z; направляется кривыми водоспусками на колесо; передаетъ свое дѣйствіе, опускается по трубѣ Z, и вытекаетъ чрезъ окно G, лежащее подъ водою сточнаго канала. Изъ этого описанія видно, что тюрбина Жонваля различается отъ Фурниероной тѣмъ, что при первой, приборъ кривыхъ водоспусковъ лежитъ сверху колеса, а не внутри его, какъ это сдѣлано у второй; самое колесо установлено въ срединѣ высоты воднаго столба, а не внизу; наконецъ вода управляется ставнемъ, помѣщеннымъ снаружи, какъ у тюрбины Кадіата, а не внутри, какъ у Фурниерона.

Установъ кривыхъ водоспусковъ сверху, надъ колесомъ, употребленъ Жонвалемъ не въ первый разъ: тюрбина, предложенная Фонтеномъ (Fontaine-Varon), имѣетъ точно такое же расположеніе. Особенность, отличающая новую Жонвалеву тюрбину отъ всѣхъ прочихъ, состоитъ въ приложеніи трубы Z, считающей снизу колеса и ставня S. Если отбросить эту часть трубы Z, то часть скопленнаго столба воды не минуемо потеряется. Слѣдственно труба Z и ставень S составляютъ необходимую принадлежность устройства тюрбины Жонваля и оказываютъ, при дѣйствіи ея, важную услугу.

Въ Мюльгаузенѣ, въ заводѣ Кехлина новыя

тюрбины строятъ такъ. Труба *Z* составляется изъ двухъ, отдѣльно отлитыхъ изъ чугуна, частей, фигура 37 и 38, онѣ соединяются между собою посредствомъ болтиковъ въ обводы обѣихъ частей; на фигурѣ 37 представлена нижняя, на фигурѣ 38, верхняя часть; края *aa* послѣдней, прикрѣпляютъ къ деревянному водопроводу *X*. Колесо отливается также изъ чугуна; но перья желѣзныя (фигура 39): они укрѣплены къ чугунному ободу колеса особеннымъ способомъ: при формовкѣ обода *a* вставляютъ въ опоку уже приготовленныя желѣзныя перья и заливаютъ концы ихъ *bb*. Для большей прочности перьевъ, вставляютъ между, ними чугунныя вставки *dd*, и прикрѣпляютъ ихъ къ ободу посредствомъ болтовъ. Приборъ кривыхъ водоспусковъ составляется подобнымъ же способомъ, какъ колесо (фигура 40), съ тою только разницею, что чугунныя вставки d_1, d_2 идутъ не во всю высоту обода, и для правильнаго движенія, сверху округлены. Весь приборъ покоится въ верхней конической части трубы (фигура 38) и поддерживается, кромѣ того, четырьмя цѣпами на горизонтальномъ брусь *k*. Коробка, куда упирается валъ пятою своею, чугунная съ стальною подушкою. Горизонтальный водопроводъ *X* дѣлается обыкновенно деревянный.

Соединивъ всѣ части въ одно цѣлое, тюрбина Жонваля принимаетъ видъ, представленный на фигурѣ 36. Такъ построены тюрбины, видѣнныя мною въ Аугсбургѣ.

При большемъ діаметрѣ турбины, трубу Z лучше и выгоднѣе выкладывать изъ камня на гидравлическомъ цементѣ.

Составленіемъ теоріи новой турбины занимались прежде: Редтенбахеръ и Вейсбахъ. Въ сущности обѣ теоріи между собою не отличаются: обѣ составлены на основаніи тѣхъ же самыхъ началъ, какъ и теорія Понселе. Разность между ними та, что Вейсбахъ, при развитіи оной, принималъ въ разсмотрѣніе вредныя гидравлическія сопротивленія, именно: отъ сжатія струи, отъ тренія воды при движеніи ея по каналамъ и потерю отъ кривизны ихъ (Krümmungswiderstand).

Предположенія, на основаніи которыхъ Вейсбахъ теорія развита, состоятъ:

- 1) Что вода наполняетъ совершенно каналы между двумя, смѣжно лежащими, перьями;
- 2) Всѣ частицы воды вытекаютъ изъ аппарата кривыхъ водоспусковъ на колесо въ разстояніи, отъ оси вращенія, равномъ средней арифметической величинѣ между двумя радіусами;
- 3) Центробежная сила при движеніи воды на колесѣ не оказываетъ никакого вліянія по причинѣ малой разности между внутренними и внѣшними діаметрами, равно какъ и по причинѣ незначительной скорости колеса;
- 4) Наконецъ, чтобы вода при движеніи своемъ во всемъ устройствѣ составляетъ непрерывную струю.

Первое и последнее условия составляют необходимую принадлежность реактивной турбины.

Слѣдующія наименованія будутъ соблюдены при всѣхъ теоретическихъ изслѣдованіяхъ (фигура 41).

А. Давленіе атмосферы.

Н. Дѣйствующій столбъ воды, то есть, разность въ горизонтахъ воды въ приводномъ и стоичномъ каналахъ.

h. Столбъ воды измѣряемый непосредственно надъ колесомъ.

б. Высота колеса.

h₁. Высота столба воды отъ нижняго края колеса до нижняго горизонта воды.

h₀. Глубина воды надъ центромъ выпускнаго окна.

Q. Расходъ оной въ 1 времени.

g. Дѣйствіе тяжести.

л. Вѣсъ воды въ единицѣ объема.

F. Площадь всѣхъ отверстій NG кривыхъ водоспусковъ.

F₁ и F₂. Площади подобныхъ же отверстій сверху и внизу колеса.

α. Уголъ наклона кривыхъ водоспусковъ къ горизонту то есть, $\angle v A c$.

β. Уголъ, составляемый верхнимъ элементомъ пера съ горизонтомъ, или $\angle v A C_1$.

υ. Скорость колеса на окружности средняго радіуса.

с. Скорость вытекания воды на колесо, соответствующая столбу h.

r_1, r_2 . Внутренній и вѣншій радіусы колеса.

$r = \frac{r_1 + r_2}{2}$ — средній радіусъ.

C_2 . Абсолютная скорость, съ какою вода оставляетъ колесо;

ζ . Коэффициентъ сопротивленія отъ сжатія струи при выходѣ изъ кривыхъ водоспусковъ.

ψ . Коэффициентъ сопротивленія отъ кривизны перьевъ.

D . Діаметръ трубы Z .

G . Площадь вынускаго отверстія.

δ . Уголь, составляемый нижнимъ элементомъ пера съ горизонтомъ.

ω . Относительная скорость, съ какою вода оставляетъ колесо.

ω_1 . Скорость вытеканія воды изъ окна G .

Чтобы не прерывать ходъ вычисленій при изложеніи теоріи, разсмотримъ сперва нѣкоторыя явленія, обнаруживающіеся во время движенія воды и дѣйствія оной на колесо.

Если снять колесо съ занимаемаго имъ мѣста и установить его на высоту отверстія G , какъ въ Фонтеновой турбинѣ, тогда при пускѣ въ ходъ машины, давленіе воды, а слѣдственно и дѣйствіе оной на колесо, будетъ измѣряться разностию водяныхъ столбовъ въ отверстіи G , съ двухъ противоположныхъ сторонъ. Съ одной стороны высота будетъ: $A + h + h_1 + h_0$, а съ другой: — $(A + h_0)$. Взявъ сум-

му давленій, получимъ: $(A + h + h_1 + h_0) - (A + h_0) = h + h_1 = H$. Но при колесо установитъ, не внизу у отверстія G , а гдѣ нибудь на высоту h , тогда давленія на колесо обнаружатся: съ одной стороны $= A + h_1$; а съ другой, то есть снизу вверхъ, $-(A - h_1)$. Взявъ сумму, получимъ:

$A + h - (A - h_1) = h + h_1 = H$ то есть тотъ же самый столбъ, какъ и прежде. Но любопытно знать: эта высота водяного столба остается ли одна и та же для всѣхъ разстояній отъ центра выпускнаго окна G ? Возьмемъ тотъ случай, когда колесо установлено на разстоянн, равнымъ давленію одной атмосферы, то есть:

$h_1 = A$. Очень понятно, что тогда, труба Z , внизу колеса, будетъ вовсе излишняя; ибо давленіе столцаго въ ней столба воды уравнивается давленіемъ атмосферы; слѣдственно трубу Z , начиная снизу колеса, можно отбросить: она въ этомъ случаѣ не приноситъ никакой пользы. Само собой разумѣется, что полезный столбъ вмѣстѣ съ тѣми уменьшится на высоту h_1 , равную одной атмосферѣ. Изъ чего слѣдуетъ заключить, что въ турбинѣ Жонваля колесо не должно устанавливать выше столба, равнаго 32,22 футамъ (начиная отъ нижняго горизонта воды). Въ противномъ случаѣ связь струи тотчасъ нарушается, и обнаруживается значительная потеря.

Но непрерывная связь струи нарушается также и тогда, когда давленіе обращается въ 0 въ тѣхъ

мѣстахъ, гдѣ струя воды претерпѣваетъ какое либо измѣненіе; напримѣръ, при входѣ на колесо непосредственно, и при оставленіи онаго. Слѣдственно необходимо надобно при построеніи турбины соблюдать, чтобы давленія въ этихъ двухъ точкахъ перехода, снизу вверхъ, не были $= 0$. Въ верхнемъ край колеса назовемъ это давленіе чрезъ x , а въ нижнемъ при вытеканіи воды съ колеса чрезъ y .

Не слѣдуетъ понимать, что давленія x и y , дѣйствуя въ обратную сторону, отнимаютъ часть полезной высоты; и слѣдственно вредны; въ этомъ отношеніи они не полезны, но вмѣстѣ съ тѣмъ и не вредны, и служатъ единственно для поддержанія связи водяной струи.

На верхній край пера дѣйствуетъ столбъ воды h и атмосфера A ; въ обратную сторону давить сила x ; слѣдственно скорость, съ какою вода стремится войти на колесо, будетъ измѣряться:

$C^2 = (A + h - x) 2g$. Принявъ въ расчетъ сопротивленіе отъ сжатія струи, будетъ:

$$(1 + \xi) c^2 = 2g (A + h - x).$$

Относительная скорость втеканія воды выразится:

$$C_1^2 = c^2 + v^2 - 2c v \cos \alpha.$$

$$C_1^2 = (A + h - x) 2g - \xi c^2 + v^2 - 2c v \cos \alpha.$$

Въ концѣ пера скорость c_1 превратится въ C_2 , которая будетъ измѣряться:

$$C_2^2 = c_1^2 + 2g (b + x - y);$$

Принявъ въ разсмотрѣніе сопротивленіе отъ кривизны каналовъ, формула обратится.

$$(1 + \varphi) c_2^2 = 2g(b + x - y) + c_1^2 = 2g(A + h + b - y) + v^2 - 2cv \cos \alpha - \zeta c^2.$$

$$C_2^2 = 2g(A + b + h - y) + v^2 - 2cv \cos \alpha - \zeta c^2 - \eta c_1^2.$$

При дѣйствіи воды посредствомъ реакціи необходимо соблюденіе условія: чтобы вода наполняла совершенно все каналы колеса. На этомъ основаніи, слѣдуетъ, чтобы расходъ воды въ различныхъ площадяхъ F , F_1 , F_2 и G былъ одинаковъ, то есть, чтобы:

$$Q = Fc = F_1c_1 = F_2c_2 = G\omega; \text{ и } C = \frac{F_2c_2}{F} = \left(\frac{F_2}{F}\right)c_2.$$

Выразимъ отношеніе площадей $\frac{F_2}{F}$ иначе, въ зависимости отъ величины угловъ α и β .

Чтобы вода, при входѣ своемъ на колесо, не производила удара, необходимо выполненіе слѣдующихъ условій:

1) Составляющая по направленію радіуса отъ разложенія скорости c , и составляющая потому же самому направленію отъ силы c_1 , должны быть одинаковы; то есть:

$$AN = c \sin \alpha = c_1 \sin \beta.$$

2) Также составляющія обѣихъ силъ c и c_1 , по касательному направленію, должны быть равны между собою:

$$AF = c_1 \cos \beta + v_1 = c \cos \alpha. \text{ Отсюда:}$$

$$\frac{c_1}{c} = \frac{\sin. \alpha}{\sin. \beta}, \text{ и } c = \frac{v \sin. \beta}{\sin. (\beta - \alpha)}$$

Наконецъ чтобы вода передала всю свою живую силу колесу, надобно, чтобы абсолютная скорость воды была равна скорости колеса, то есть:

$$c_2 = v.$$

Вставивъ найденныя величины въ предыдущее уравненіе, получимъ:

$$\left\{ 2 \frac{\text{Sin. } \beta \text{ Cos. } \alpha}{\text{Sin. } (\beta - \alpha)} + \zeta \left(\frac{\text{Sin. } \beta}{\text{Sin. } (\beta - \alpha)} \right) + \varphi \right\} v^2 = 2g (A + b + h_1 - y).$$

Какъ это уравненіе составлено въ предположеніи наилучшаго дѣйствія, то скорость колеса, изъ сего равенства выведенная, будетъ наивыгоднѣйшая:

$$v = \sqrt{\frac{2g (h + A + b - y)}{2 \frac{\text{Sin. } \beta \text{ Cos. } \alpha}{\text{Sin. } (\beta - \alpha)} + \zeta \left(\frac{\text{Sin. } \beta}{\text{Sin. } (\beta - \alpha)} \right) + \varphi}}$$

Въ этомъ уравненіи неизвѣстна только величина y ; надобно опредѣлить ее.

$y = A - h_1 + Z$. Здѣсь Z означать теряющуюся высоту отъ скорости вытеканія воды изъ отверстія G .

$$v = \sqrt{\frac{2g (H - Z)}{2 \frac{\text{Sin. } \beta \text{ Cos. } \alpha}{\text{Sin. } (\beta - \alpha)} + \zeta \left(\frac{\text{Sin. } \beta}{\text{Sin. } (\beta - \alpha)} \right) + \varphi}}$$

Видно, что чѣмъ величина Z меньше, тѣмъ дѣйствіе выгоднѣе; следовательно если $z = 0$, то получится на-

илучшій усеїхъ. Но $z = 0$ тогда только, когда вода вытекаетъ изъ отверстія G съ весьма слабою скоростью, или что все равно, когда окно G будетъ значительно большое.

Остается показать зависимость, существующую между давленіями x и y .

$$\text{Прежде выведено: } C = \frac{v \operatorname{Sin.} \beta}{\operatorname{Sin.} (\beta - \alpha)};$$

$$X = A + h - (1 + \zeta) \frac{C^2}{2g} = a + h - (1 + \zeta) \frac{v^2 \operatorname{Sin.} \beta^2}{\operatorname{Sin.} (\beta - \alpha)^2}$$

Или, отбросивъ гидравлическія сопротивленія, получимъ:

$$X = A + h - \frac{H \operatorname{Sin.} \beta}{2 \operatorname{Cos.} \alpha \operatorname{Sin.} (\beta - \alpha)}$$

Уничтоживъ давленіе атмосферы:

$$x = h - \frac{H \operatorname{Sin.} \beta}{2 \operatorname{Cos.} \alpha \operatorname{Sin.} (\beta - \alpha)}$$

Здѣсь x всегда будетъ $= 0$, или даже внѣшнему атмосферному давленію, въ случаѣ:

$$h = \frac{H \operatorname{Sin.} \beta}{2 \operatorname{Cos.} \alpha \operatorname{Sin.} (\beta - \alpha)}$$

Но какъ по условію непрерывности водяной струи, x должно быть отлично отъ 0 , то необходимо чтобы:

$$A + h > \frac{H \operatorname{Sin.} \beta}{2 \operatorname{Cos.} \alpha \operatorname{Sin.} (\beta - \alpha)}$$

Чтобы вода непрерывала свое движеніе непосредственно подъ колесомъ, то y долженъ быть также отличенъ отъ 0 , то есть.

$$A - h_1 + Z > 0.$$

$h_1 < A + Z$; но $z = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{G}\right)^2$; следовательно $h_1 < A + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{G}\right)^2$. Но когда площадь G окна весьма велика въ сравненіи съ расходомъ Q , то можно принять, не причиняя особенной ошибки, $z = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{G}\right)^2 = 0$, тогда получимъ:

$h_1 < A$. Следовательно выдетъ то же самое заключеніе, что прежде.

И такъ въ устройствѣ турбины Жонваля, давленія x и y должны имѣть величины, отличныя отъ 0, то есть болѣе; и высота h_1 должна быть менѣе атмосфернаго столба.

Для опредѣленія произведеннаго дѣйствія, или работы, развертываемой турбиною Жонваля, примѣнимъ способъ, обыкновенно при всѣхъ гидравлическихъ колесахъ употребляемый. Онъ состоитъ въ томъ; что изъ полнаго запаса работы ($Q\pi H$) отнимаются всѣ сопротивленія; истребляющія часть живыхъ силъ воды.

Въ турбинѣ Жонваля эти потери заключаются:

1) Въ уничтоженіи живыхъ силъ въ приборѣ кривыхъ водоспусковъ отъ сжатія струи. Потеря выражается такъ:

$$L_1 = \zeta \frac{c^2}{2g} Q\pi.$$

2) Поглощеніе живой силы треніемъ воды въ

каналахъ колеса и кривизною ихъ. Потеря измѣряется по формулѣ:

$$L_2 = \psi \frac{C_2^2}{2g} Q\pi.$$

3) При выходѣ изъ колеса вода уноситъ съ собою часть живой силы; эта часть измѣряется абсолютною скоростью воды въ концѣ пера, и формула для этой цѣли служащая, есть слѣдующая:

$$L_3 = \frac{\omega^2}{2g} Q\pi; \omega = \sqrt{c_2^2 + v^2 - 2c_2 v \cos. \delta} \text{ и } c_2 = v.$$

$$\omega = \sqrt{4 c_2 v \left(\sin. \frac{\delta}{2} \right)^2} = 2 v \sin. \frac{\delta}{2}.$$

$$\text{слѣдственно } L_3 = \frac{\left(2 v \sin. \frac{\delta}{2} \right)^2}{2g} Q\pi.$$

4) Наконецъ потеря живой силы, уносимая скоростью воды ω_1 при выходѣ изъ отверстія G:

$$L_4 = \frac{\omega_1^2}{2g} Q\pi. \text{ Иначе.}$$

$$L_4 = \frac{1}{2g} \cdot \frac{Q^3}{G^2} \pi; \text{ ибо } \omega_1 = \frac{Q}{G}.$$

Собравъ всѣ отдѣльныя потери въ одну сумму, и отнявъ оную изъ величины полного запаса, получимъ формулу для опредѣленія полезной работы турбины:

$$L = Q\pi H - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) = \left\{ H - \left[\zeta c^2 + \psi c_2^2 + \left(2 v \sin. \frac{\delta}{2} \right)^2 + \omega_1^2 \right] \frac{1}{2g} \right\} Q\pi.$$

Опредѣлимъ всѣ члены отрицательной, въ общемъ выраженіи произведенной, работы.

Первый отрицательный член уничтожится вовсе не может. Онъ зависитъ, исключительно, отъ коэффициента скорости; ибо сжатія здѣсь не обнаруживается, по причинѣ совершенною наполненія каналовъ и непрерывной связи струи.

Самый наименьшій коэффициентъ скорости, имѣющей мѣсто при хорошо округленномъ отверстіи, $= 0,97 = \phi$. Онъ выведенъ въ случаѣ вытекания воды изъ отверстій въ тонкихъ стѣнкахъ. Для отверстія, образуемаго кривыми водоспусками турбины, коэффициентъ скорости ϕ будетъ меньше, именно отъ 0,92 до 0,95; слѣдственно $c' = 0,95 c$.

$$\zeta \frac{c^2}{2g} Q\pi = Q\pi \frac{1}{2g} (c^2 - c'^2) = Q\pi \frac{1}{2g} (1 - (0,95)^2).$$

Иначе:

$$\zeta \frac{c^2}{2g} Q\pi = \zeta \frac{F_2^2 v^2}{F^2} \frac{v^2}{2g} Q\pi = 0,095 \frac{v^2}{2g} \frac{F_2^2}{F^2} Q\pi.$$

И такъ здѣсь теряется $9\frac{1}{2}\%$ работы колеса.

При $0,97 = \phi$, теряется только 6% .

Второй отрицательный членъ въ общей формулѣ также нельзя вовсе уничтожить. Онъ состоитъ: 1) изъ сопротивленія отъ кривизны и 2) отъ тренія воды по каналамъ колеса. Потерянная работа отъ первой причины измѣряется по формулѣ:

$$\left\{ 0,124 + 3,104 \left(\frac{d}{2a} \right)^{\frac{7}{2}} \right\} \cdot \frac{k}{\pi i} \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{nde} \right)^2 Q\pi.$$

или, полагая $Q^2 = (F_2 v)^2$, будетъ:

$$X = \left\{ 0,124 + 3,104 \left(\frac{d}{2a} \right)^{\frac{7}{2}} \right\} \frac{k}{\pi i} \left(\frac{F_2}{nde} \right)^2 \frac{v^2}{2g} Q\pi.$$

- Въ этомъ выраженіи:
- к. Уголъ кривизны при центрѣ.
 - п. Число каналовъ въ колесѣ.
 - с. Высота канала.
 - лї. Приближенное отношеніе окружности къ диаметру.

Потеря работы отъ тренія измѣряется:

$$Y = \left(0,0144 + 0,0169 \sqrt{\frac{nde}{Q}} \right) \cdot \frac{(d+e)l}{2de} \cdot \left(\frac{F_2}{nde} \right)^2 \cdot \frac{v^2}{2g} Q \pi.$$

Слѣдственно $L_2 = X + Y$.

Чтобы третій отрицательный членъ сдѣлать $= 0$, надобно $\angle \delta = 0$. Но въ практикѣ δ не дѣлають бесконечно малымъ ($= 0$) по двумъ причинамъ: чтобы избѣжать удара при выходѣ воды въ смѣжное, близъ лежащее перо, и чтобы избѣжать чрезмѣрно большой кривизны. Впрочемъ, кромѣ того, есть другое основаніе, по которому $\angle \delta$ не дѣлають равными 0; объ этомъ сказано будетъ послѣ.

Наконецъ четвертый и послѣдней отрицательный членъ, въ общемъ выраженіи работъ турбины, можетъ быть какъ теоретически, такъ и практически обращенъ въ 0; ибо:

$$\omega_1^2 = 2gz; \quad z = \frac{\omega_1^2}{2g}; \quad \omega_1 = \frac{Q}{G}$$

$z = \frac{1}{2} \left(\frac{Q}{G} \right)^2$. Когда площадь окна G очень значительная въ сравненіи съ расходомъ Q , то

$$\frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{G} \right)^2 = 0, \text{ следовательно}$$

$$L_4 = \frac{1}{2g} \omega_1^2. Q\pi = \frac{1}{2g} \frac{Q^2}{G^2} \Pi = 0.$$

При начертании новой турбины величины Q и H бывают всегда даны, прочія же части, какъ-то: g , α , β , δ , v , F , F_1 , F_2 , G и другія опредѣляются или теоретически, или изъ опыта найденными величинами.

Прежде всего опредѣли углы α , β , и δ .

I. Выше было найдено, что для наивыгоднѣйшаго дѣйствія, δ долженъ быть $= 0$. Но когда

$\delta = 0$, то или $\alpha = 0$, или $\beta = 0$; ибо

$$c_1 \sin. \beta = c_2 \sin. \delta = v \sin. \delta, \text{ и } \frac{c_1}{v} = \frac{\sin. \alpha}{\sin. (\beta - \alpha)}$$

Вотъ почему въ практикѣ, строго принимая, невозможно построить абсолютно совершенную турбину. Для величины δ , вмѣсто 0, принимаютъ весьма малую величину, именно отъ 15° до 25° .

2. Уголь β назначаютъ произвольно, не выходя однако жъ изъ предѣловъ отъ 90° до 150° .

3. Величина α опредѣлится по формулѣ.

$$\frac{c_1}{v} = \frac{\sin. \alpha}{\sin. (\beta - \alpha)}, \quad \frac{\sin. \alpha}{\sin. (\beta - \alpha)} = \frac{\sin. \delta}{\sin. \beta}$$

$$\frac{\sin. (\beta - \alpha)}{\sin. \alpha \sin. \beta} = \frac{1}{\sin. \delta}; \quad \cotg \alpha = \cotg \beta + \frac{1}{\sin. \delta}$$

По даннымъ величинамъ α , β опредѣляется скорость v и c .

$$4. v = \sqrt{\frac{2gH}{2 \frac{\sin \beta \cos \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} + \zeta \left(\frac{\sin \beta}{\sin(\alpha - \beta)} \right)^2 + \psi}}$$

$$5. c = \frac{v \sin \beta}{\sin(\beta - \alpha)}$$

6. Площади сѣченій F , F_1 и F_2 :

$$F = \frac{Q}{c}; \quad F_2 = \frac{Q}{v}$$

7. Ширина d турбины, и средний радиус r : въ построенныхъ турбинахъ такія, что отношеніе между d и r равно $0,5 \div 0,4 = n = \frac{d}{r}$.

Принявъ $\frac{d}{r} = n$, получимъ:

$$F = 2 \pi r d \sin \alpha = 2 \pi n r^2 \sin \alpha.$$

Отсюда: $r = \sqrt{\frac{F}{2 \pi n \sin \alpha}}$, и $d = nr$

8. Разстояніе между двумя сѣжно взятыми перьями, считая по средней окружности, дѣлають въ 2 раза болѣе ширины d ; почему назвавъ это разстояніе чрезъ e , получимъ: $\frac{e}{d} = 0,5 = m$; или:

$$e = md.$$

9. По извѣстному радиусу и по извѣстному разстоянію отъ одного пера до другаго, число перьевъ опредѣлится:

$$n = \frac{2 \pi r \sin \alpha}{e} = \frac{F}{de}$$

10. Высота колеса произвольна; но очень высокое колесо дѣлать невыгодно; ибо чѣмъ длиннѣе каналы, тѣмъ болѣе возрастаютъ вредныя сопротивленія. Высоту колеса b дѣлаютъ равною ширинѣ d .

11. *Кривизна перьевъ и водоспусковъ.* Пересѣчемъ оба колеса, верхній и нижній, нѣсколькими концентрическими кругами, или цилиндрами, коихъ вертикальная ось будетъ общая съ осью колесъ; допустимъ также, что вода во время движенія своего по обоимъ колесамъ, между двумя смѣжно лежащими цилиндрами, идетъ прямо сверху внизъ, а не отклоняется въ сторону, вслѣдствіи центробѣжной силы. Возьмемъ одинъ изъ разсѣкающихъ поясовъ въ разстояніи r отъ оси; толщина пояса будетъ $r + \delta r$. Кривизна, какъ пера, такъ и водоспуска, должны быть таковы, чтобы величина угловъ α , β , δ удовлетворяли бы уравненію, выведенному для скорости колеса.

Площадь сѣченій во взятомъ поясѣ будетъ:

$$F = 2 \pi r \sin. \alpha \delta r.$$

$$F_1 = 2 \pi r \sin. (\beta - \alpha) \delta r.$$

$$F_2 = 2 \pi r \sin. \delta \delta r.$$

Назовемъ чрезъ Θ угловую скорость колеса.

$v = r\Theta$. Но известно, что

$$v = \sqrt{gH \frac{\sin. (\beta - \alpha)}{\sin \beta \cos. \alpha}} \quad \text{Слѣдственно:}$$

$$r\theta = \sqrt{gH \frac{\sin. (\beta - \alpha)}{\sin. \beta \cos. \alpha}}. \text{ Также.}$$

$$\frac{\sin. \delta}{\sin. \alpha} = \frac{\sin. \beta}{\sin. (\beta - \alpha)}.$$

Возьмемъ другой поясъ, отстоящій отъ оси въ разстояніи, равномъ r_1 ; пусть для этого пояса будутъ: $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$. По предидущему:

$$\frac{\sin. \delta_1}{\sin. \alpha_1} = \frac{\sin. \beta_1}{\sin. (\beta_1 - \alpha_1)}, \text{ и}$$

$$r_1\theta = \sqrt{gH \frac{\sin. (\beta - \alpha)}{\sin. \beta \cos. \alpha}}.$$

Рѣшая эти уравненія, получимъ:

$$\cotg \beta = -\frac{1}{\sin. \delta} + \cotg \alpha.$$

$$\tg \alpha = \left(\frac{r}{r_1}\right)^2 \tg \alpha_1 \frac{\sin. \delta}{\sin. \delta_1}$$

$$\cotg \alpha_1 = -\frac{1}{\sin. \delta_1} + \cotg \beta_1.$$

Въ практикѣ уголъ δ_1 принимается равнымъ δ . слѣдственно:

$$\tg \alpha = \left(\frac{r}{r_1}\right)^2 \tg \alpha_1$$

$$\cotg \alpha_1 = -\frac{1}{\sin. \delta_1} + \cotg \beta_1,$$

$$\cotg \beta = -\frac{1}{\sin. \delta_1} + \cotg \alpha.$$

Первое из найденныхъ уравненій показываетъ, что съ уменьшеніемъ r уголъ α также уменьшается; а третье уравненіе показываетъ, что съ увеличеніемъ угла α , уголъ β также увеличивается. И такъ съ измѣненіями радіуса углы α и β измѣняются въ прямомъ смыслѣ. Слѣдственно наклоненіе къ горизонту крайнихъ элементовъ пера и кривыхъ водоспусковъ измѣняется. Опредѣливъ крайные элементы, кривизна средины произвольна.

Простѣйшій графическій способъ очертанія перьевъ состоитъ въ слѣдующемъ:

Пусть KL (фигура 42), означаетъ линію прикосновенія обѣихъ колесъ, лежащихъ одинъ надъ другимъ. По длинѣ оной отложимъ разстояніе $A_1 A = \frac{2\pi r}{n}$; проведемъ прямыя линіи изъ точекъ A и A_1 подъ угломъ α ; линіи $A_1 N_1, A N \dots$ будутъ конечные элементы водоспусковъ. Чтобы начертить начальные элементы ихъ, то изъ точекъ $A_1 A_1 \dots$ проведемъ нормальныя чрезъ $N_1 N_1 \dots$ онѣ пересѣкутъ внѣшнюю окружность въ точкахъ $O_1 O_1 \dots$. Изъ этихъ послѣднихъ, какъ изъ центровъ, радіусами $O_1 N_1, O N$ опишемъ дуги; чрезъ то образуются кривыя: $D_1 N_1, D N \dots$, которыя вмѣстѣ съ прямымъ $A_1 N_1, A N \dots$ дадутъ кривизну водоспуска. Теперь кривизна пера: на разстояніи EL , равномъ высотѣ b колеса, проведемъ параллельную къ KL ; она будетъ EG ; на этой послѣдней отложимъ разстояніе

$EE_1 = \frac{2\pi r}{n}$; изъ точекъ E_1, E_1, \dots проведемъ пря-
 мыя линіи EB, E_1, B_1, \dots подъ угломъ равнымъ
 δ ; изъ точки E_1 опустимъ на линію EB , перпенди-
 куляръ $E_1 B_1$; точки B и A соединимъ между со-
 бою прямою линіей AB , которая съ линією BC сос-
 тавляла бы уголъ $ABC = \frac{\beta + \delta}{2}$; линію AB дѣ-
 лимъ пополамъ въ точкѣ M ; изъ сей послѣдней
 проведемъ перпендикуляръ до встрѣчи съ линією
 BT , въ точкѣ C . Точку C принявъ за центръ, раді-
 усомъ BC опишемъ дугу AB . Такимъ образомъ по-
 лучимъ полную кривизну пера.

Если оба колеса пересѣчь цилиндромъ, косога ра-
 діусъ равенъ внѣшнему радіусу турбины, и образо-
 ванную цилиндрическую поверхность развернуть въ
 прямую; то начерченныя предидущимъ способомъ,
 кривыя водоспуски и перья примуть видъ, пред-
 ставленный на фигурѣ 43, А. Если цилиндръ совпа-
 деть съ среднимъ радіусомъ r колеса, то кривые во-
 доспуски и перья на развернутой цилиндрической
 поверхности получаютъ видъ, изображенный на фи-
 гурѣ 43 В.

Профессоръ Редтенбахеръ предлагаетъ придавать
 турбинѣ Жонваля слѣдующіе размѣры:

$$\alpha = 24^\circ; \beta = 123^\circ; C = 0,707 \sqrt{2gh}.$$

$\frac{r_2}{r} = \frac{2}{3}$; $\frac{r}{r_1} = \frac{5}{6}$; n (число нерьевъ) = 24, n_1 (число водоспусковъ) = 16; вѣншній радіусъ колеса $r_1 = 4,580 \sqrt{\frac{Q}{C}}$, внутренній радіусъ = $r_2 = \frac{2}{3} r_1$; средній радіусъ $r = \frac{5}{6} r_1$; скорость наибыводнѣйшая на средней окружности колеса $V = 0,600 \sqrt{2gH}$; наибыводнѣйшее число оборотовъ = $9,548 \frac{V}{r}$; высота тюрбины = $\frac{5}{7} r$; высота кривыхъ водоспусковъ = $\frac{4}{7} r$; радіусъ кожуха = 1,225 r ; ширину водосточнаго канала = 4 r ; $Q = 0,125 \cdot \frac{\text{Числа паровыхъ лошадей}}{H}$

И

При построении тюрбины Жонваля очень важное обстоятельство составляетъ устройство ставня. Совершеннѣйшее устройство ставня, или щита, должно удовлетворять тому условію, чтобы отношеніе полезнаго дѣйствія къ полному запасу не измѣнялось съ уменьшеніемъ расхода воды; другими словами: чтобы полезное дѣйствіе измѣнялось пропорціонально расходу воды, принимая постоянный столбъ. Въ тюрбинѣ Жонваля расходъ воды управляется посредствомъ обыкновеннаго щита S , установленнаго подъ водою, въ сточномъ каналѣ. Подобный ставень далеко не удовлетворяетъ условію хорошаго уравнителя: онъ можетъ, въ случаѣ избытка притекающей воды, служить для управленія скоростью колеса, а

въ случаѣ убыли воды онъ не можетъ управлять жолобомъ. Выше, при развитіи теоріи, было выведено, что полезное дѣйствіе возрастаетъ прямо пропорціонально кубу расхода; слѣдственно если при извѣстномъ расходѣ Q новая турбина въ состояніи развить $0,72\frac{Q}{\sigma}$ полного рабочаго запаса, то при расходѣ, уменьшенномъ въ $\frac{4}{5}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{2}$ первоначальнаго объема, коэффициентъ полезнаго дѣйствія будетъ: $(\frac{4}{5})^3 = 0,51$; $(\frac{3}{4})^3 = 0,42$; $(\frac{2}{3})^3 = 0,5$; $(\frac{1}{2})^3 = 0,125$ часть прежняго, получаемаго при полномъ расходѣ ($72\frac{Q}{\sigma}$). Справедливость этого заключенія можно подтвердить такимъ примѣромъ: пусть на турбину, при полномъ открытіи ставня, идетъ 20 кубическихъ футовъ воды въ 1''; предположимъ къ тому, что развертываемая ею работа равна 40 паровымъ лошадямъ, и коэффициентъ дѣйствія $= 0,72$. Если притокъ воды уменьшить до 10 кубическихъ футовъ, то есть на $\frac{1}{2}$ прежняго объема, то конечно необходимо будетъ опустить ставень и закрыть часть выпускнаго отверстія G , чтобы оставить прежній столбъ воды. Но тогда вода будетъ вытекать чрезъ отверстіе кривыхъ водоспусковъ и перьевъ, оставшихся не измѣненными, со скоростью въ 2 раза меньшею чѣмъ при 20 кубическихъ футахъ расхода; а высота столба, измѣняясь пропорціонально квадрату скорости, упадетъ до $\frac{1}{4}$ первоначальной высоты. Слѣдственно запасъ работы будетъ: $\frac{1}{2} Q \frac{1}{4} H = \frac{1}{8} QH$; и если турбина прежде, при расходѣ

въ 20 кубическихъ футовъ обращала въ пользу 72%, то въ последнемъ случаѣ, она развернетъ только $\frac{1}{8}$.
 $0,72 = 0,125$. $0,72 = 0,09$, то есть, 9%.

Изобрѣтатель новой турбины очень хорошо знаетъ этотъ недостатокъ. Чтобы устранить его, слѣдовало бы въ промежуткѣ между двумя лежащими одинъ надъ другимъ колесами, устроить приборъ, посредствомъ котораго, или отверстія кривыхъ водоспусковъ, или перья можно было бы суживать, или расширять, смотря по притоку воды. Но установъ такого аппарата весьма затруднителенъ.

При постройкѣ турбинъ Жонваля въ Мульгаузенъ и Цюрихъ приборъ кривыхъ водоспусковъ снабжаютъ 6 или 10 крышками, придѣланными сверху на шарнирахъ. Опытъ показываетъ, что это средство уменьшаетъ недостатокъ ставня S, но вовсе уничтожить не можетъ.

Профессоръ Редгенбахеръ предлагаетъ вмѣсто крапа подъ водою, употреблять клапанъ, установленный вверху колеса, въ водопроводномъ каналѣ; а все устройство турбины располагать такъ, какъ показано на фигурѣ 44. Но клапанъ K, также какъ и щитъ S, не удовлетворяетъ условіямъ хорошаго уравнителя расхода. Впрочемъ по последнему образцу можно съ большею выгодною строить турбины въ мѣстахъ, гдѣ скопленный столбъ воды довольно значителенъ, но измѣняется въ большихъ предѣлахъ отъ полноводія и мелководія.

Опытами надъ тюрбиною Жонвала занимались Редтенбахеръ и Моренъ. Тюрбина, надъ которою первый производилъ опыты, построена небрежно и не акуратно. Кривые водоспуски, числомъ 6, были направлены подъ угломъ 45° (α) къ горизонту и сдѣланы изъ прямыхъ листовъ безъ кривизны; перьевъ въ колесѣ было 16; кривизна ихъ образована на основаніи цилиндрической поверхности; оба колеса были укрѣплены въ самомъ верху вертикальной трубы Z. Прочіе размѣры тюрбины были слѣдующіе:

Метры.	Метры.
$r_1 = 0,478$; $\beta = 90^\circ$; $e_1 = 0,288$; $G = 1,0$	
$r_2 = 0,528$; $\delta = 30^\circ$; $e_2 = 0,076$; $b = 0,185$	
$r = \frac{r_1 + r_2}{2} = 0,403$; $\alpha = 45^\circ$; $e = 0,152$; $D = 1,02$	

Тюрбина была снабжена особеннымъ приборомъ, состоящимъ изъ желѣзныхъ секторовъ для уменьшенія площади отверстія на случай убыли притока воды.

Расходъ потребляемый колесомъ, былъ измѣряемъ посредствомъ водослива, коего ширина $= 5,54$ метрамъ; высота воды наблюдаема была въ разстояніи 2 метровъ отъ порога водослива; количество воды вычислено по формулѣ: $Q = 0,42 b n \sqrt{2gh}$. Опыты дѣланы помощію прибора Прони.

Наблюденія показали, что щитъ S не можетъ служить для управленія расходомъ: при подъемѣ став-

ня на всю высоту выпускнаго окна полезное дѣйствіе было — на 62% ; но когда онъ былъ поднятъ только на $\frac{1}{4}$ высоты, то коэффициентъ дѣйствія вдругъ упалъ до 18% .

Дѣйствіе, оказываемое служивательнымъ приборомъ, нельзя было измѣрить по причинѣ сломки цѣпи; наблюденіе было сдѣлано только при закрытіи $\frac{1}{6}$ части вѣшнихъ отверстій, расходъ воды при этомъ уменьшился на 10% , а коэффициентъ дѣйствія на 7% .

Наибольшее полезное дѣйствіе обнаружилось при слѣдующихъ данныхъ:

Число оборотовъ = 75.

Расходъ воды $Q = 0,655$ кубическимъ метрамъ.

Грузъ на динамометръ = 30 килограммамъ.

Высота столба $H = 1,48$ метрамъ.

Высота окна $G = 0,45$.

Коефициентъ дѣйствія найденъ: $0,62$.

При этихъ наблюденіяхъ сдѣланы также слѣдующіе любопытные выводы:

1) Измѣненіе площади окна G производитъ весьма малое вліяніе на развертываемую полезную работу при постоянно-одинаковомъ притокѣ воды.

2) Число оборотовъ колеса можетъ измѣняться въ большихъ предѣлахъ, не причиняя вреда дѣйствію турбины.

3) Число оборотовъ свободно дѣйствующей турбины, безъ привода, ровно въ 2 раза болѣе того

числа, которое она дѣлаетъ, развертывая наибольшее дѣйствіе.

4) Дѣйствіе съживительнаго прибора (секторовъ) вредно.

5) Скорость колеса неимѣетъ вліянія на расходъ воды при одной и той же величинѣ выпускнаго окна.

Профессоръ Редтсбахеръ отзывался объ этой турбинѣ не съ большою похвалою. Онъ говорилъ, что при лучшемъ и болѣе отчетливомъ построеніи можно ожидать болѣе отъ новой турбины.

Результаты, выведенныя Мореномъ изъ своихъ опытовъ, оказываются выгоднѣе. Онъ нашелъ коэффициентъ дѣйствія равнымъ 0,72. Впрочемъ всѣ выводы, приведенныя выше, Моренъ положительно подтверждаетъ.

О сравненіи выгодъ новой турбины съ Фурнеро-новой сказано подробно въ отчетъ моемъ о путешествіи за границу.

Fig. 1.

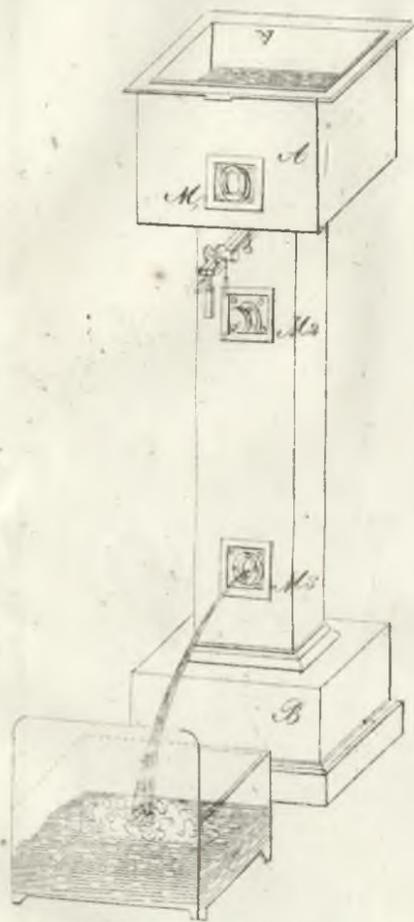


Fig. 3.

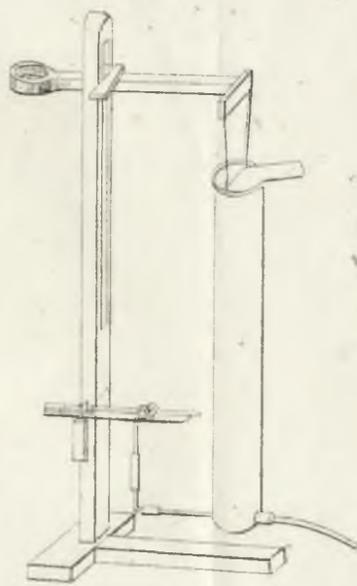


Fig. 2.

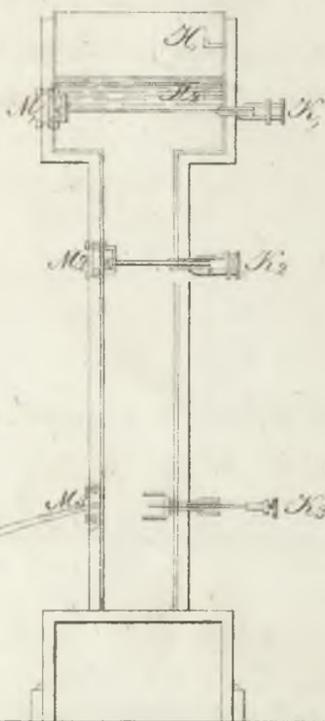


Fig. 4.

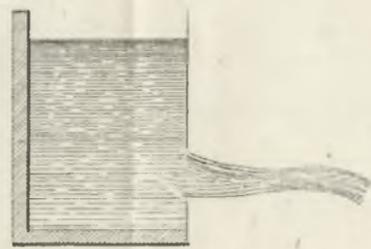


Fig. 6.

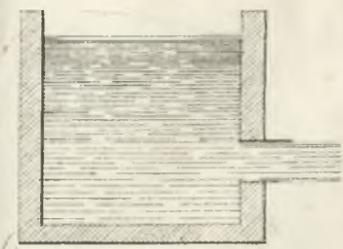
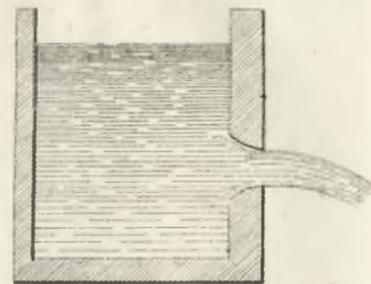


Fig. 8.

Fig. 5.

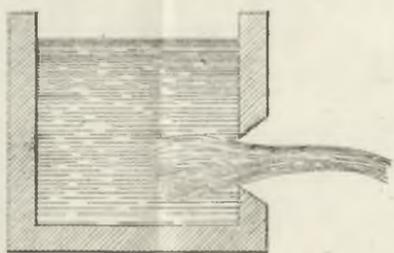


Fig. 7.

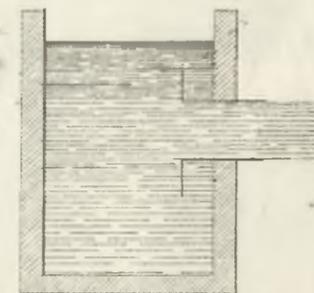
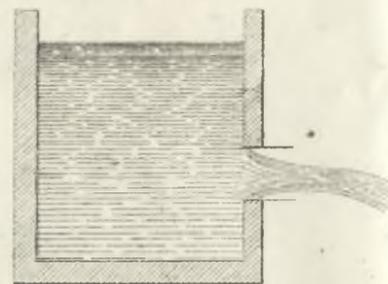


Fig. 9.

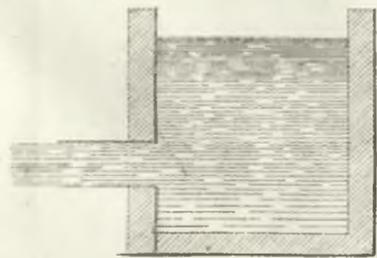


Fig. 10.

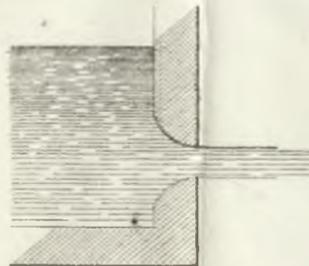


Fig. 11.

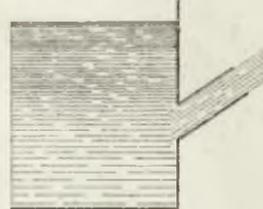


Fig. 12.

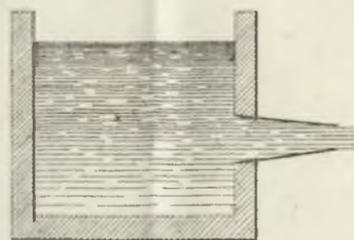


Fig. 13.

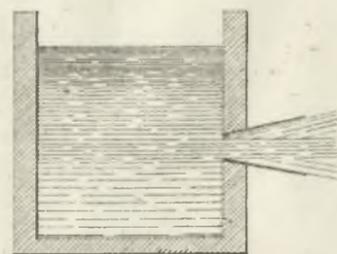


Fig. 14.



Fig. 15.



Fig. 16.

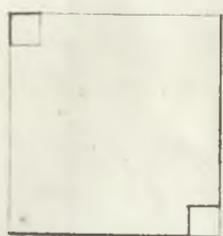


Fig. 17.

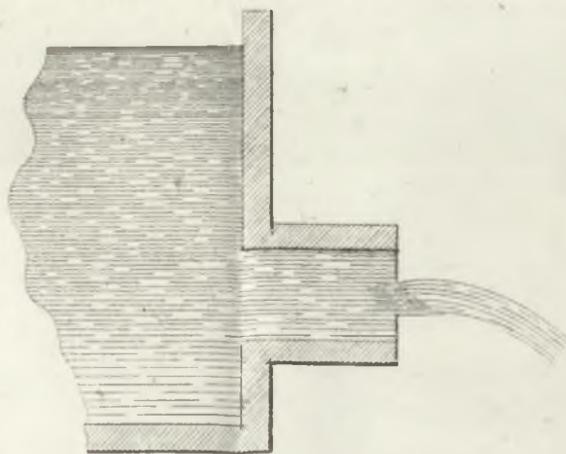


Fig. 18.

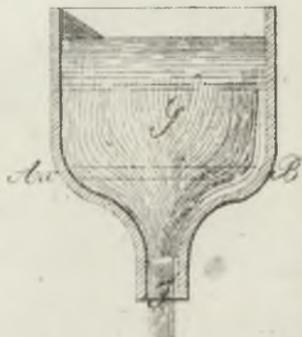


Fig. 19.

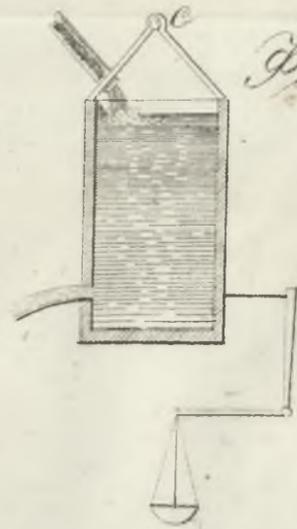


Fig. 20.

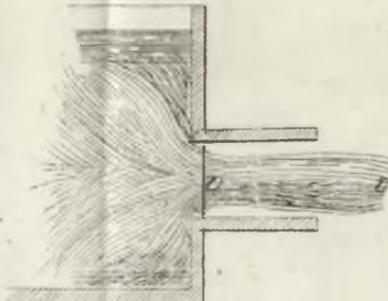


Fig. 21.

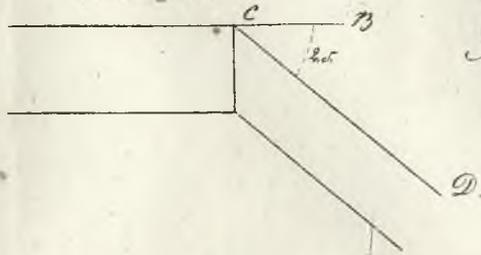


Fig. 22.

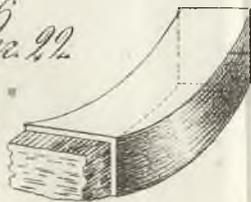


Fig. 23.

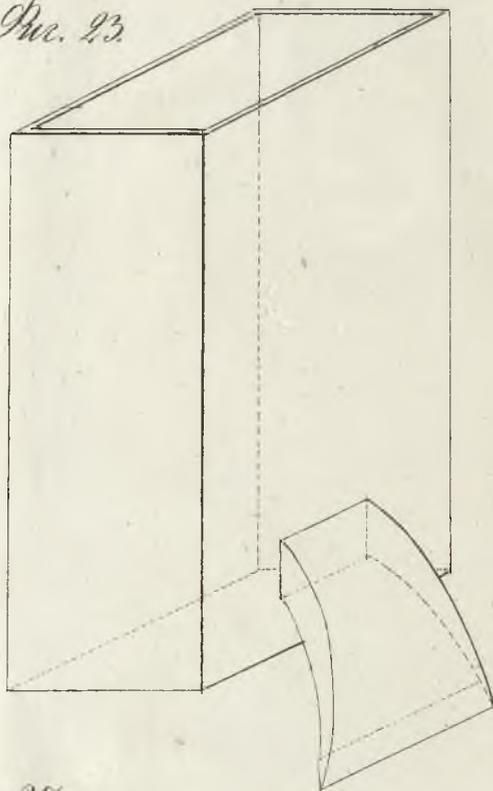


Fig. 25.

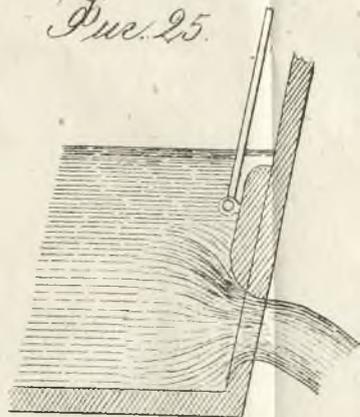


Fig. 24.

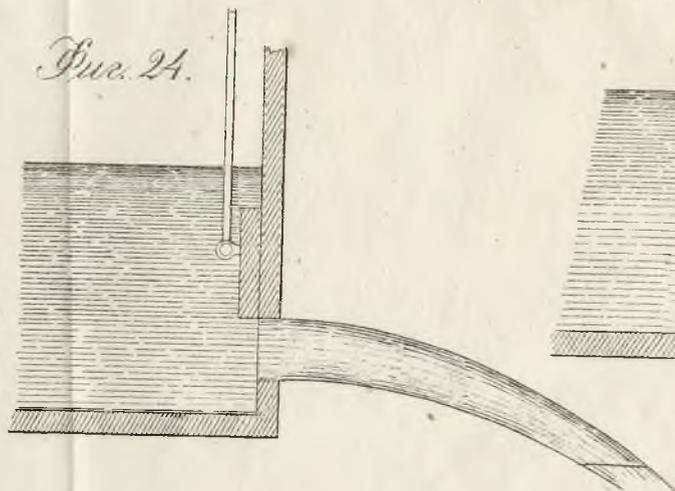


Fig. 26.

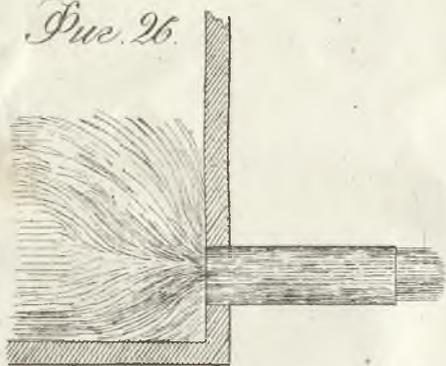


Fig. 27.

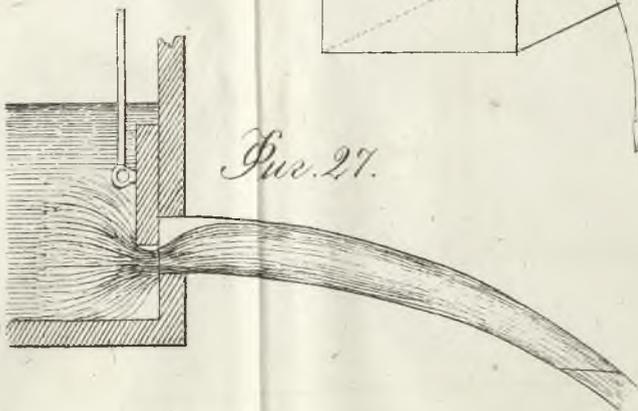


Fig. 30.

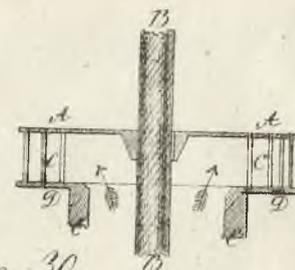


Fig. 29.

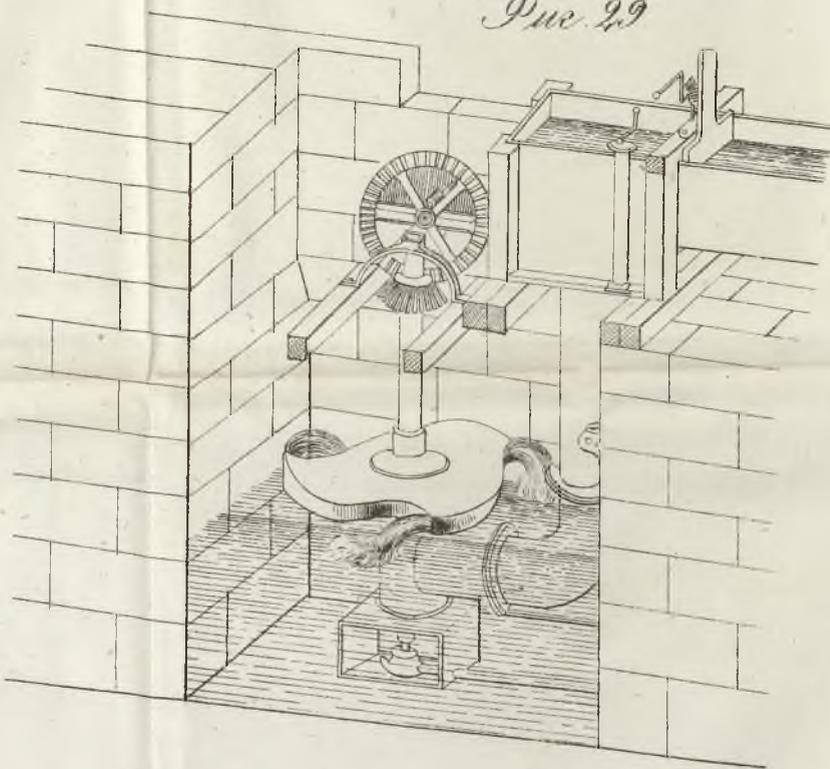


Fig. 28.

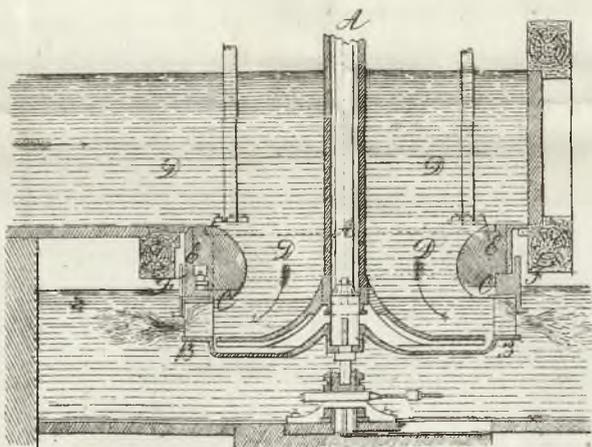
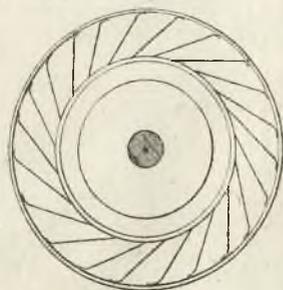
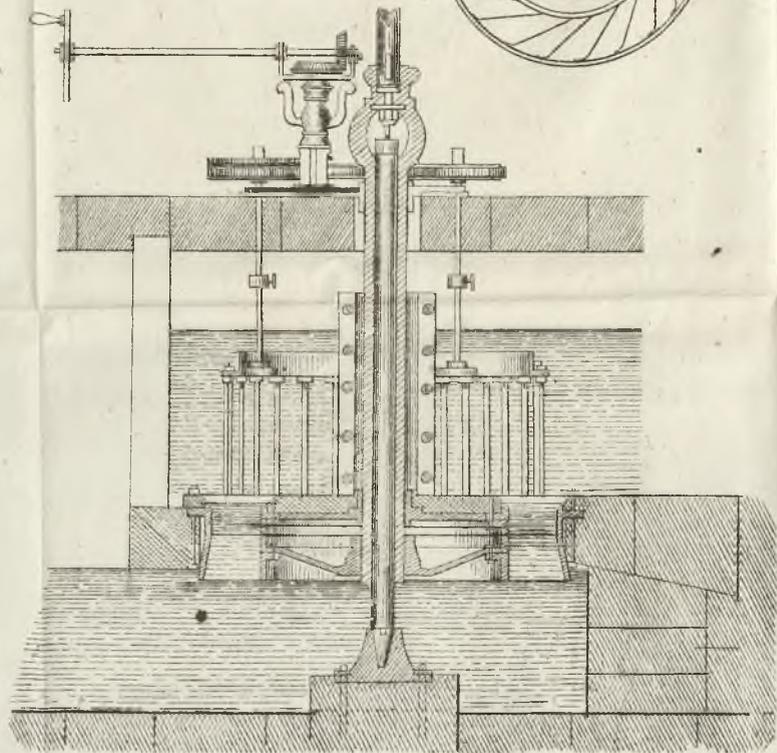


Fig. 31.



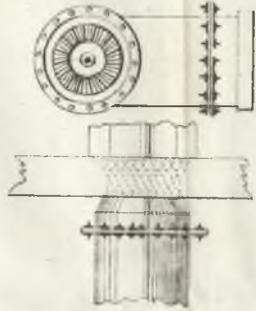
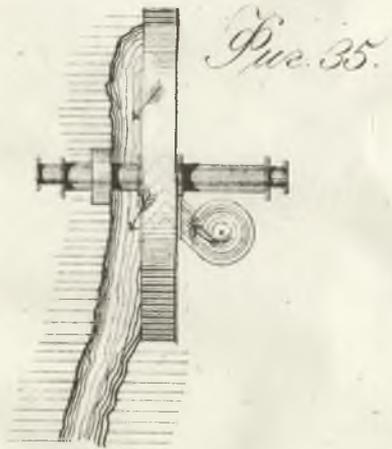
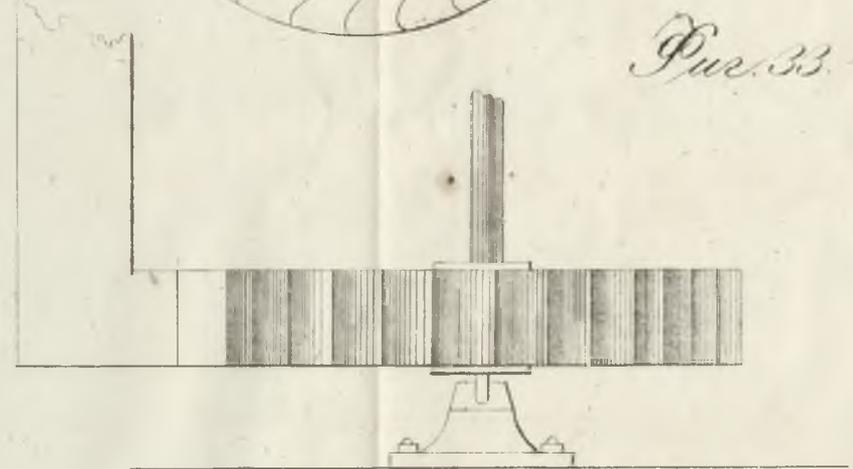
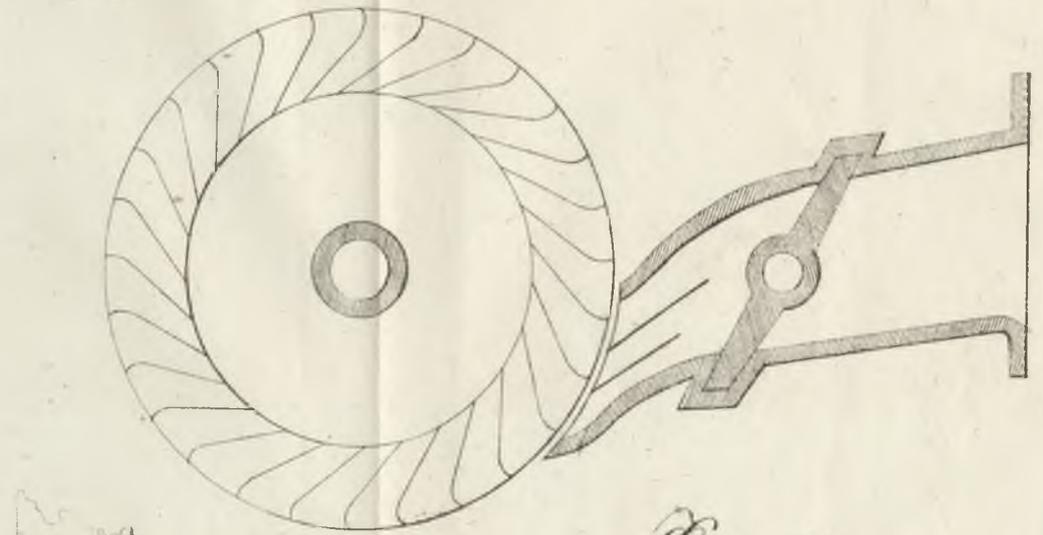
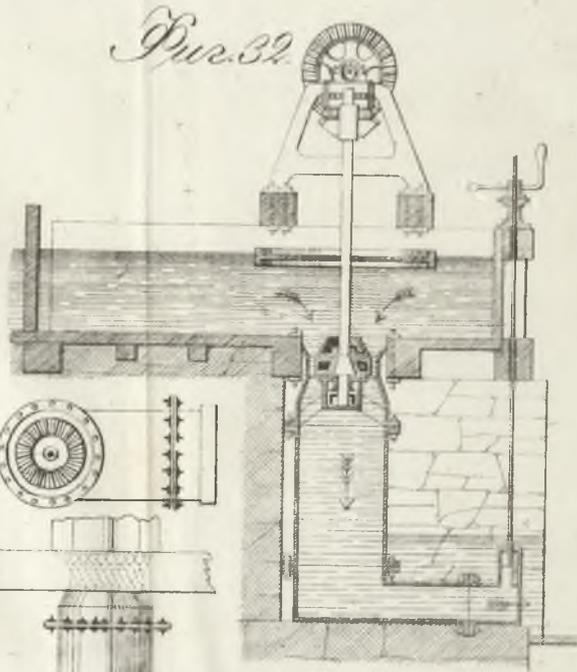
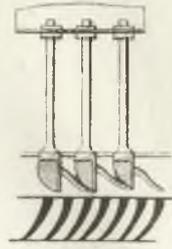
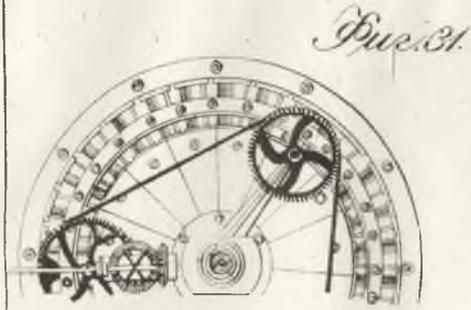


Fig. 39

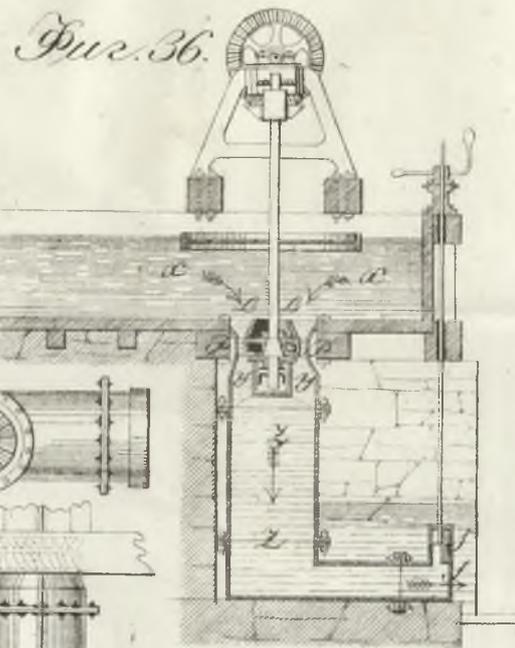
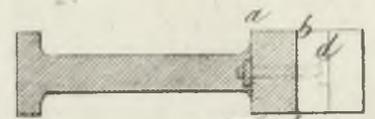
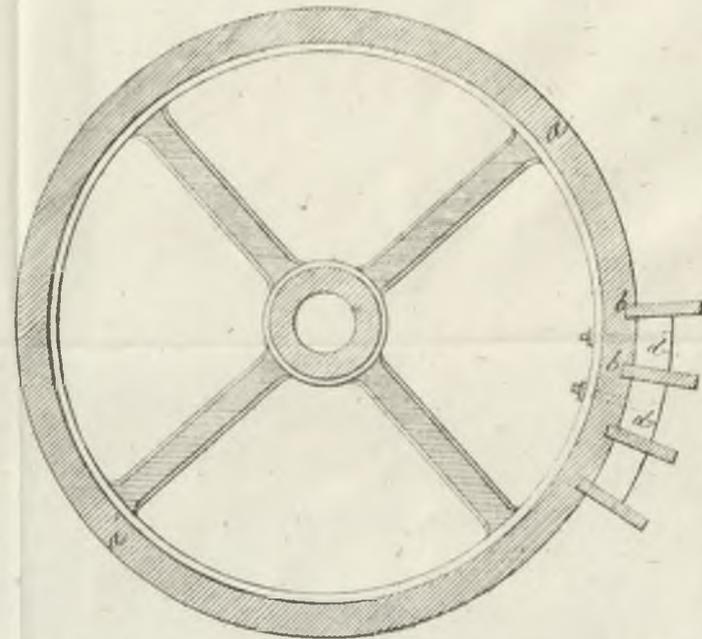
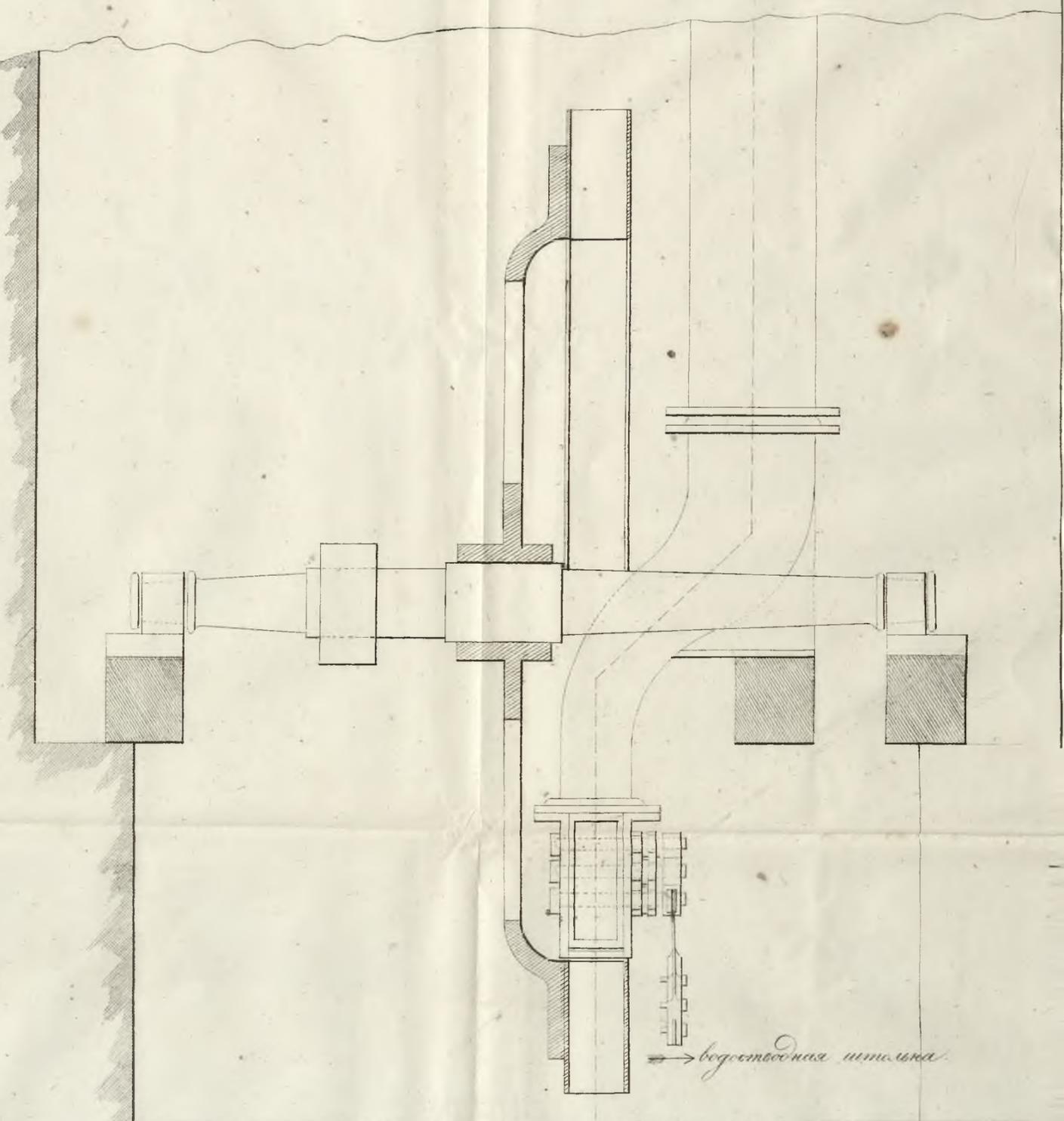
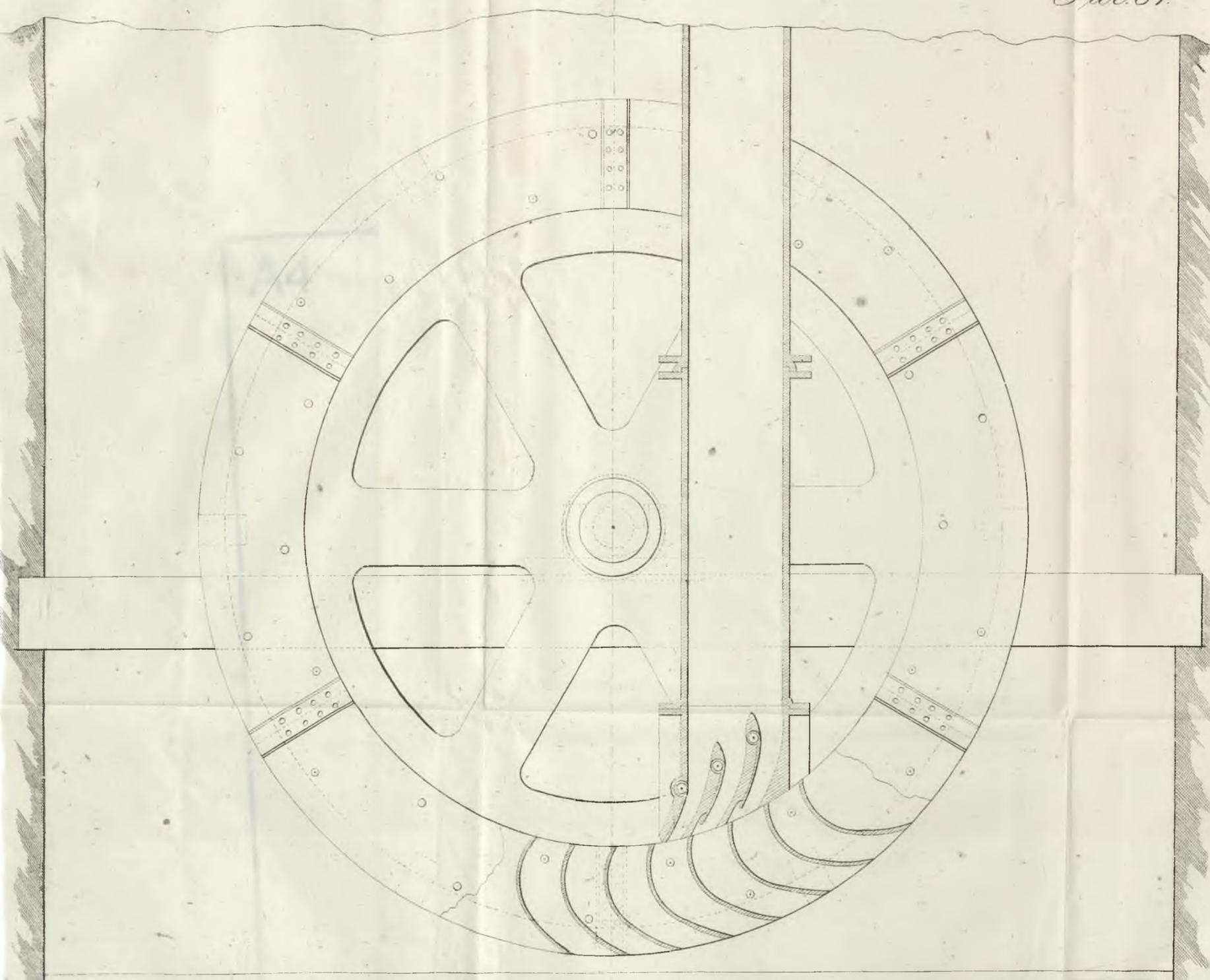


Fig. 34.

a

c



1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100

Высота шпindel.

Тур. Машин. 1848г. N. 8.

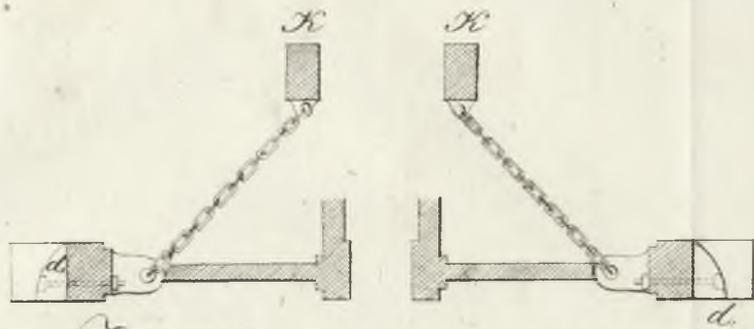


Fig. 40.

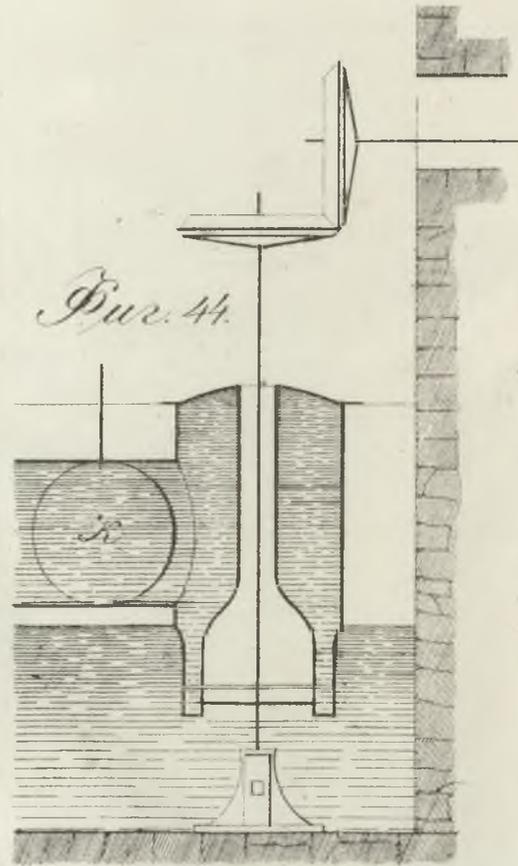
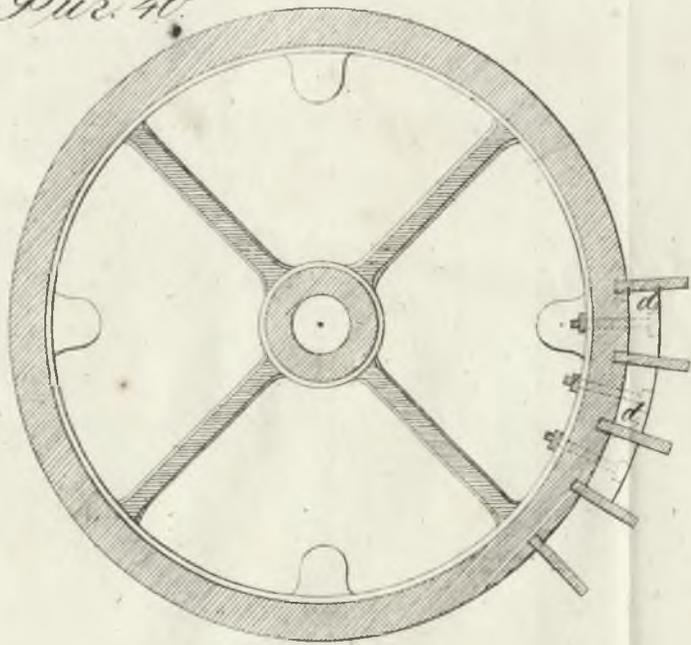


Fig. 42.

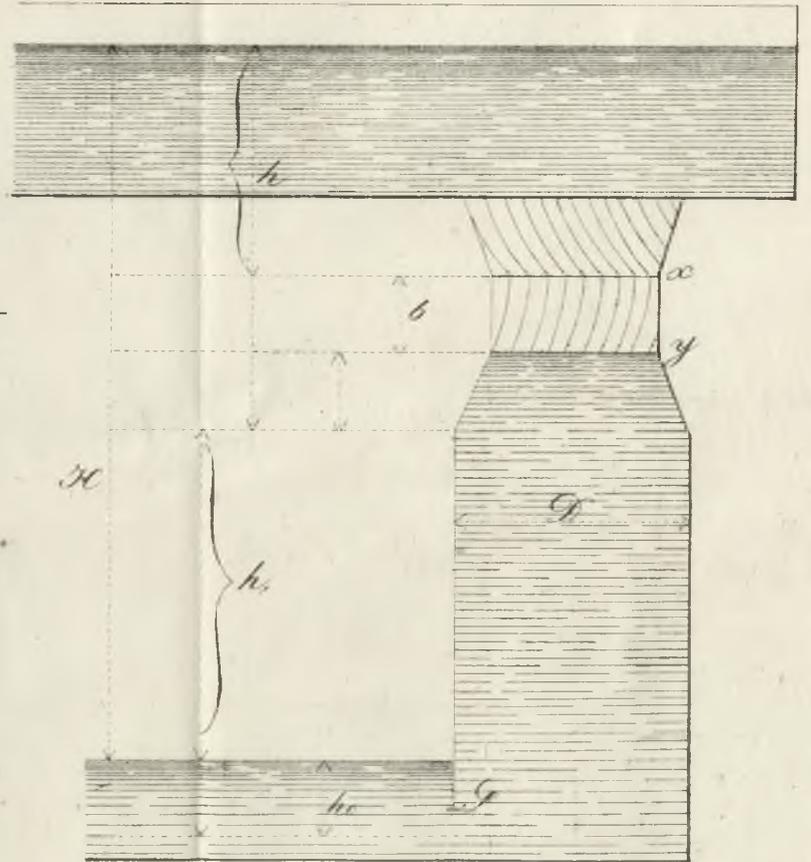


Fig. 43.

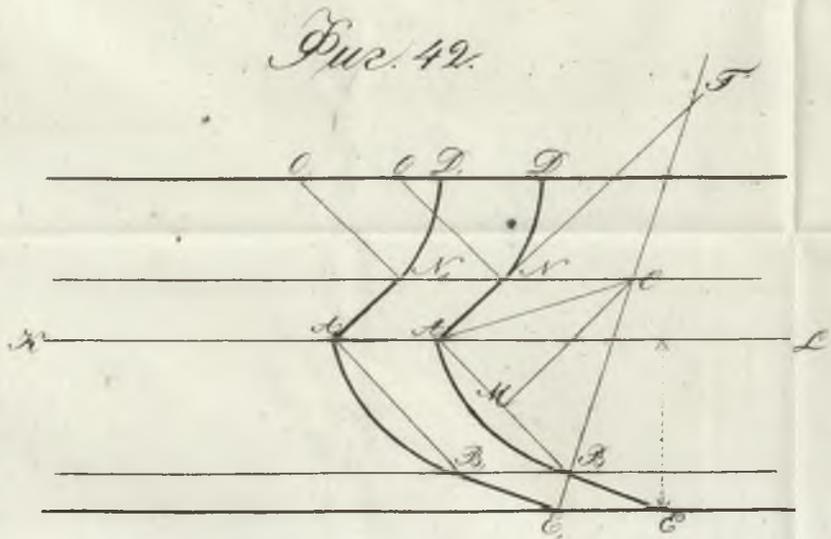


Fig. 44.

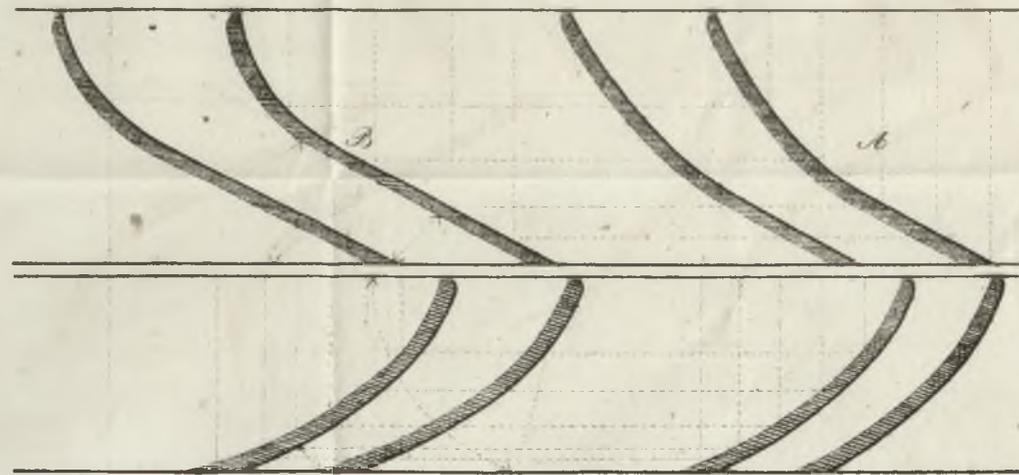


Fig. 45.

Fig. 41.

Topin Myym. 1848. N. 8.

